# Kritische Untersuchungen über die Phosphorsäureaufnahme durch Keimpflanzen ⟨Neubauer = Methode⟩

## Inaugural = Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen phil. Fakultät der Universität Rostock

Vorgelegt von

HANS-JÜRGEN FREY

Diplomlandwirt

aus Berlin

Druck von Paul Funk, Berlin SW 48, Friedrichstraße 231

Referent: Professor Dr. H o n c a m p

# Inhaltsübersicht.

I. Die verschiedenen Verfahren zur Feststellung des Nährstoffbedürfnisses im Boden unter besonderer Berücksichtigung der Neubauermethode.

II. Experimenteller Teil

A) Versuchsanordnung

B) Der Einfluß des Kalkes auf die Phosphorsäureaufnahme

C) Die Phosphorsäureaufnahme aus verschiedenen Phosphaten

1. Versuche mit chemisch reinen Salzen
2. Versuche mit Düngesalzen
3. Zusammenfassung der Ergebnisse und ihre Bedeutung für die Grenzwertberechnung.

D) Vergleich zwischen Keimpflanzmethode und Vegetationsversuch

III. Zusammenfassung

IV. Literatur

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549216_0055

Die Ernährung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen spielt seit jeher in der Landwirtschaft eine bedeutende Rolle. So lange man nicht wußte, welche Stoffe die Pflanze zum Aufbau ihres Organismus benötigte, konnte an eine Lösung dieser Frage nicht gedacht werden. Es ist nun das Verdienst Liebigs nachgewiesen zu haben, daß für den Aufbau des pflanzlichen Organismus neben dem Wasser, dem Sauerstoff und der Kohlensäure der Luft vor allem eine Anzahl von Mineralstoffen aus dem Boden in Betracht kommt. Diese nun muß der Landwirt in Form von Düngesalzen dem Boden wieder zuführen, und auf diese Weise den Vorrat an Nährstoffen ständig ergänzen, damit die Pflanzen weitergedeihen, und normale Ernten erzielt werden können. Im Hinblick auf die wirtschaftliche Lage in der Landwirtschaft ist eine rationelle Anwendung der Düngemittel erforderlich, d. h. so zu düngen, daß möglichst hohe Ernten verbunden mit einem möglichst hohen Reingewinn erzielt werden. Dazu ist aber die Kenntnis des jeweiligen Düngezustandes des Bodens Vorbedingung. Der Landwirt muß wissen, ob in einem Boden Nährstoffmangel, bzw. Nährstoffüberschuß vorliegt, ob er mit einer Düngung noch Erfolge erzielen kann, oder ob er vielleicht mit dem einen oder dem anderen Düngemittel sparen kann. Erst dann ist die Möglichkeit einer rationellen Anwendung der Düngemittel vorhanden, während ohne Kenntnis des Düngezustandes diese nur eine schematische, d. h. mehr oder minder planlose sein kann. Es ist daher immer ein Ziel der landwirtschaftlichen Forschung gewesen, Verfahren aufzufinden, welche dem Landwirt in möglichst einwandfreier Weise ermöglichen sollten, den Düngezustand eines Bodens kennen zu lernen und seine Düngemaßnahmen einzurichten.

Man hat früher geglaubt, durch die chemische Analyse eines Bodens feststellen zu können, an welchen Nährstoffen es demselben mangelt, in dem man sich vermittels starker Säuren einen Nährstoffauszug herstellte und in diesem die einzelnen Nährstoffe bestimmte. Das ist jedoch unrichtig. Durch die chemische Bodenanalyse läßt sich nur ermitteln, wie groß im Ackerboden der Gehalt an Pflanzennährstoffen überhaupt ist. Niemals aber kann man hieraus folgern, ob die vorhandenen Nährstoffe auch in einer für die Pflanze aufnehmbaren Form vorhanden sind. Infolgedessen kann auch die gewöhnliche chemische Bodenanalyse vermittels starker Säuren kaum irgendwelche bestimmte Anhaltspunkte für die Düngerbedürftigkeit eines Ackerbodens abgeben. Es ist dies nur möglich, wenn man den Gehalt eines solchen an wurzellöslichen Pflanzen-

nährstoffen bestimmen kann. An Versuchen, diese mit Hilfe der chemischen Bodenanalyse zu ermitteln, hat es nicht gefehlt, und zwar ging man so vor, daß man an Stelle der ursprünglich benutzten starken Säuren schwache Säuren teils organischer, teils anorganischer Natur anwandte*). Jedoch wurden nennenswerte Erfolge damit nicht erzielt**).

In neuester Zeit haben König und Hasenbäumer (1, 2) einerseits, Lemmermann (3) andererseits diese Versuche wieder aufgenommen. Zur Bestimmung der für die Pflanzenernährung tatsächlich verfügbaren Nährstoffe benutzen sie eine 1%ige Zitronensäurelösung, da diese Lösung nach den Untersuchungen von Dyer (4) über die Azidität des von den Pflanzen ausgeschiedenen Wurzelsaftes ungefähr dem Aziditatswerte des Wurzelsaftes entspricht.

Um nun die Düngebedürftigkeit eines Bodens feststellen zu können gingen König und Hasenbäumer davon aus, sich zuerst über drei Punkte Klarheit zu verschaffen: zuerst über die Nährstoffmenge, die einem Boden durch eine hohe Ernte entzogen wird, sodann über den Gehalt des Bodens an pflanzenaufnehmbaren Pflanzenstoffen und schließlich über die prozentuale Ausnutzung dieser Nährstoffe durch die verschiedenen Pflanzen in den verschiedenen Böden. Im Laufe ihrer Untersuchungen über diese Fragen kamen sie zu dem Ergebnis, daß ein Boden genügend mit Kali, Phosphorsäure und Stickstoff versehen ist, wenn in 100 g Boden mehr als 16 mg Kali, 25 mg Phosphorsäure und 15 mg Stickstoff vorhanden sind.

Die Methode von Lemmermann (3) beschränkt sich auf die Ermittelung des Düngebedürfnisses für Phosphorsäure. Wie bei dem Verfahren von König und Hasenbäumer ist bei ihr die gleiche Menge zitronensäurelösliche Phosphorsäure erforderlich, um anzuzeigen, daß ein Boden mit diesem Nährstoff hinreichend versorgt ist. Es genügt jedoch nach Lemmermann nicht, nur den Gehalt an zitronensäurelöslicher Phosphorsäure allein zur Beurteilung des Düngebedürfnisses heranzuziehen. Vielmehr legt Lemmermann außerdem noch Gewicht auf die Kenntnis des Gehaltes des Bodens an Gesamtphosphorsäure und auf die relative Löslichkeit, d. h. auf das Verhältnis der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure zu dieser. Beträgt der Gehalt der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure mehr als 25 mg in 100 g Boden, und ist der relative Löslichkeitsgrad etwa gleich 25 % oder höher, so ist nach Lemmermann ein Boden hinreichend mit Phosphorsäure versehen und bedarf keiner weiteren Düngung mit diesem Nährstoff mehr.

---

*) Anmerkung: Vergleich hierüber die Zusammenstellung v. König in: Die Untersuchung landwirtschaftlich und landw.-gewerbl. wichtiger Stoffe. V. Aufl. Bd. I S. 93 fg.

**) Eine ausführliche Literaturzusammenstellung findet sich in der Originalarbeit.

Was nun die Brauchbarkeit dieser Verfahren, vermittels der 1 %igen Zitronensäure das Düngebedürfnis des Bodens festzustellen anbelangt, so liegen darüber nur Erfahrungen über die Methode von Lemmermann allein vor, die sich jedoch im großen und ganzen hinsichtlich der Phosphorsäure für das Verfahren König-Hasenbäumer in Anspruch nehmen lassen. Nach diesen ergab die Methode von Lemmermann für die Beurteilung der Düngebedürftigkeit kein unbedingt richtiges Bild, wenn auch in vielen Fällen die Ergebnisse des Verfahrens mit denen von Düngeversuchen übereinstimmten.

Als eine weitere Methode zur Feststellung der Düngebedürftigkeit eines Bodens ist der Feldversuch zu erwähnen. Es ist also hier die Pflanze selbst, welche Antwort geben soll, ob und welche Nährstoffe einem Acker zur Erzielung normaler Erntebeträge fehlen. Und in der Tat lassen die hiernach erzielten Ergebnisse wohl erkennen, ob ein wichtiger Pflanzennährstoff dem Boden fehlt, aber sie geben keinen Aufschluß über den vorhandenen Vorrat.

Dasselbe Prinzip wie dem Feldversuch liegt dem Gefäßversuch zu Grunde, nur daß hier die Untersuchung eines Bodens in besonderen und eigens dazu hergerichteten Gefäßen vorgenommen wird. Trotzdem hat der Gefäßversuch zur Ermittelung des Düngebedürfnisses nur eine beschränkte Bedeutung. Denn mit dem Gefäßversuch entfernt man sich den natürlichen Verhältnissen, wie sie bei dem Feldversuch vorliegen, und schafft hinsichtlich der Wasserversorgung, der Wärme und des Lichtes vollkommen neue und günstigere Bedingungen. Infolgedessen gestalten sich die Ernten und die Wirkung der Düngung in den Gefäßen ganz anders als auf freiem Felde. Aus diesem Grunde sind seine Ergebnisse nicht ohne weiteres auf das freie Feld zu übertragen, und es ist eine oft zu beobachtende Tatsache, daß die Ergebnisse des Gefäßversuches mit denen des Feldversuches nicht übereinstimmen. So gibt denn der Gefäßversuch nicht in allen Fällen einen Aufschluß über die Düngebedürftigkeit der Böden.

E. A. Mitscherlich (5) ist nun mit großem Erfolg bemüht gewesen, die „qualitativen" Methoden des Feld- und Gefäßversuches zu „quantitativen" auszubilden. Die Feststellung des Düngebedürfnisses erfolgt hierbei in Vegetationsgefäßen, wobei dem zu untersuchenden Boden nach dem Prinzip des Mangeldüngungsversuches noch die entsprechenden Düngergemische zugefügt werden. Als Versuchspflanze dient in der Regel der Hafer. Das Verfahren von Mitscherlich beruht im wesentlichen auf zwei Grundlagen. Die eine ist das sogenannte Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren. Dieses besagt, daß jeder Wachstumsfaktor unabhängig von den anderen den Pflanzenertrag steigern kann. Diese Steigerung der Erträge erfolgt nach einer bestimmten Gesetzmäßigkeit, und zwar ist die durch einen Wachstumsfaktor erzielte Ertrags-

steigerung stets proportional dem am Höchstertrage fehlenden Ertrag. Die zweite Grundlage bilden seine Untersuchungen über den Wirkungswert der Wachstumsfaktoren. Hierbei hat er festgestellt, daß die verschiedenen Wachstumsfaktoren eine ganz verschiedene Wirkungsgröße besitzen, und für diese ganz bestimmte Faktoren aufgestellt. Auch diese Wirkungsfaktoren sollen nach Mitscherlich unter allen Umständen konstant sein. Sie sollen also gleich sein für alle Böden, alle Pflanzen, alle Witterungsverhältnisse. Auf Grund der mit den Gefäßversuchen erzielten Ernteergebnissen und mit Hilfe seines durch zahlreiche Feldversuche bestätigten Wirkungsgesetzes berechnet Mitscherlich den in der Flächeneinheit enthaltenen Stickstoff-, Phosphorsäure- und Kalivorrat in dz. Unter Berücksichtigung dieser Mengen kann man dann mit Hilfe der von Mitscherlich berechneten Ertragstafeln feststellen, welche Mengen von den einzelnen Nährstoffen noch zu geben sind um zu einem Höchstertrag zu kommen, bzw. einem Ertrag, bei welchem die höchste Rente erzielt wird. Das Verfahren nach Mitscherlich gibt also nicht nur das Düngebedürfnis eines Bodens überhaupt an, sondern es gewährt auch Aufschluß über den Vorrat eines Bodens an aufnehmbaren Pflanzennährstoffen.

Eine weitere Methode, das Düngebedürfnis festzustellen, welche weitgehende Beachtung und Verbreitung gefunden hat, ist das Verfahren von Neubauer. Bekanntlich hat N e u b a u e r (6) dieses Problem auf pflanzen-physiologischem Wege zu lösen gesucht. Zur Ermittelung der in einem Boden vorhandenen wurzellöslichen Nährstoffe benutzt er die Pflanze selbst. Das Verfahren stellt also gewissermaßen ein Vegetationsversuch im kleinen mit einer wesentlich abgekürzten Vegetationsdauer dar. Gegenüber den anderen pflanzenphysiologischen Methoden besitzt es weiterhin noch den großen Vorzug, daß es jederzeit ausgeführt werden kann und schon spätestens nach 4 Wochen Ergebnisse liefert. Neubauer benutzt als Standardpflanze Roggen, weil dessen Wurzeln nur ein schwaches Lösungsvermögen für die Bodennährstoffe eigen sein soll. Durch seine Anordnung, auf einer geringen Bodenmenge eine große Anzahl Pflanzen wachsen zu lassen, will er erreichen, daß die jungen Pflanzen so gut wie alle wurzellöslichen Nährstoffe aus der Bodenmenge aufnehmen können und diese gleichsam erschöpfen können. Nach Neubauer ist im allgemeinen der Gehalt eines Bodens an Kali und Phosphorsäure genügend, wenn 100 g eines wasserfreien Bodens einen Gehalt von 8 mg Phosphorsäure und 24 mg Kali aufweisen. Werden diese Werte erreicht, so nimmt er an, daß ein solcher Boden für die meisten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, sofern sie nicht besonders gesteigerte Ansprüche für den einen oder den anderen Nährstoff haben, also für alle Halmfrüchte genügende Mengen an aufnehmbarer Phosphorsäure und Kali enthält. Andererseits werden

die Hack- und Oelfrüchte sowie auch die Futterpflanzen zum Teil einen wesentlich höheren Nährstoffgehalt verlangen, um ausreichende Ernten hervorbringen zu können. Welche Grenze nun für die hauptsächlich angebauten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen nach Neubauer in Betracht kommt, zeigt folgende Uebersicht:

| | mg $P_2O_5$ | mg $K_2O$ | | mg $P_2O_5$ | mg $K_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Weizen, Roggen | 8 | 14 | Kartoffeln | 10 | 37 |
| Gerste, Hafer | 7 | 18 | Zuckerrüben | 12 | 39 |
| Rotklee | 9 | 28 | Futterrüben | 14 | 45 |
| Luzerne | 13 | 34 | Raps | 15 | 23 |

Selbstverständlich sind diese Zahlen nur als Durchschnittszahlen anzusehen und gelten für besondere Verhältnisse. Neubauer selbst hat diese Zahlen für solche Böden berechnet, die in der Lage sind, hohe Ernten hervorzubringen und sagt selbst (7), daß man bei weniger leistungsfähigen Boden mit geringeren Werten auskommt. Daß dies der Fall ist, zeigen die Untersuchungen von Römer (8), der für die verschiedenen Kulturpflanzen folgende Werte aufgestellt hat:

| | mg $P_2O_5$ | mg $K_2O$ | | mg $P_2O_5$ | mg $K_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|
| Gerste | 6 | 20 | Kartoffeln | 6 | 40 |
| Hafer | 4 | 20 | Zuckerrüben | 8 | 30 |

Niemand wird der Ansicht sein, daß das Verfahren von Neubauer schon so vollkommen ausgebildet ist, daß es nach jeder Richtung hin sichere Resultate liefert. Als pflanzenphysiologisches Verfahren kann es von den verschiedenen Wachstumsfaktoren mehr oder minder abhängig sein. Und in der Tat lassen die hierüber ausgeführten Untersuchungen eine gewisse, wenn auch in den meisten Fällen nur geringfügige Abhängigkeit erkennen*). Insbesondere spielt hier das Tausendkorngewicht des Roggens sowie die angewandte Roggensorte eine Rolle, wie die Untersuchungen von Neubauer (6), Günther (9), Kroß (10) einerseits, Densch (11), Opitz und Benade (12), sowie Kruppa (13) andererseits ergeben haben. Ferner läßt auch nach den Arbeiten von Lemmermann (14) und Hähne (15) die Temperatur eine Einwirkung erkennen, insofern als niedrige Temperaturen entwicklungshemmend auf die Keimpflanzen und ihre Aufnahmefähigkeit einwirken, hohe Temperaturen dagegen eine vermehrte Nährstoffabwanderung aus den Pflanzen zur Folge haben Hähne (15). Dagegen lassen die angestellten Untersuchungen über den Einfluß des Lichtes teilweise keine Abhängigkeit der Methode erkennen [Neubauer (6), Benade und Nagakawa (16)], teilweise waren die Ergebnisse so widerspruchs-

*) Eine ausführliche Zusammenstellung der über die Neubauermethode veröffentlichten Arbeiten gibt Gericke in den Landwirtschaftlichen Jahrbüchern 1927. Bd. 63, 749 ff.

voll [Hähne (15), Densch (11), Kruppa (13)], daß eine weitgehende Beeinflusung durch diesen Faktor nicht angenommen werden kann. Ebenso stellte sich die von Neubauer (6) vorgeschriebene Wassermenge nach Benade und Opitz (12) als die beste dar, da stark vermehrte Wassergaben Faulen der Körner durch Luftabschluß hervorrufen, dagegen verminderte die Aufnahme der Nährstoffe herabsetzen können. Umfangreiche Versuche sind schließlich noch über die gegenseitige Beeinflussung der Nährstoffe infolge Mangels eines Nährstoffes, sowie über den Einfluß einer Beidüngung angestellt worden. Für die Nährstoffe Kali und Phosphorsäure war an sich eine Beeinflussung der Resultate nicht oder nur in ganz geringem Maße vorhanden, die jedoch auf die Auslegung der Versuchsergebnisse keinen Einfluß hatte. Anders dagegen lagen die Verhältnisse für die Nährstoffe Stickstoff und Kalk. Für beide Nährstoffe konnten in einigen Fällen verschiedene Forscher [Densch (11), König (2), Lemmermann (14), Kroß (10)] auf eine vermehrte Aufnahme wenigstens der Phosphorsäure hinweisen, so daß die Frage aufgeworfen werden kann, ob nicht bei der Bodenuntersuchung nach Neubauer ein Zusatz von Nährstoffen, in erster Linie von Stickstoff, zweckmäßig sein dürfte, zumal dieser Nährstoff erst kurz vor der Bestellung gegeben zu werden pflegt, also meistens nach Probeentnahme für die Bodenuntersuchung. Dagegen ist jedoch anzuführen, daß es nicht sicher ist, ob eine Wirkung auf Grund einer Nährstoffzufuhr in den Keimschalen in gleichem Maße auch auf dem freien Felde eintreten wird. Außerdem haben Untersuchungen von Kroß gezeigt, daß die Beidüngung durch Stickstoff neben einer Steigerung der Phosphorsäureaufnahme eine Herabsetzung der Kaliaufnahme zur Folge hatte.

Alles in allem zeigen also die Untersuchungen über den Einfluß der Wachstumsfaktoren auf die Ergebnisse des Neubauerverfahrens, daß eine, wenn auch geringe Beeinflussung vorhanden ist. Es ist nun die Frage, ob diese Beeinflussung so hoch ist, daß dadurch ein falsches Bild über den Nährstoffvorrat der Böden entstehen kann. Im allgemeinen ist jedoch dieses zu verneinen. Zu dem wurden diese Versuche teilweise unter solchen Bedingungen angestellt, z. B. bei dem Nachweis der Einfluß der Temperatur und Licht, wie sie in der Praxis der Massenuntersuchung von Böden nach dem Verfahren von Neubauer nicht vorkommen, zum mindesten aber vermieden werden können. Hervorzuheben ist aber, daß es unbedingt erforderlich ist, daß alle Stellen, die sich mit der Bodenuntersuchung nach Neubauer befassen, möglichst eine einheitliche Versuchsanordnung anwenden, damit übereinstimmende und vergleichbare Resultate erzielt werden.

Von weit größerer Bedeutung ist jedoch die Frage, wie sich das Verfahren von Neubauer in der Praxis bewährt hat, wie weit also

es möglich ist, mit ihm das Düngebedürfnis der Böden festzustellen. Hierüber liegt eine große Anzahl von Untersuchungen vor. Hinsichtlich der Moorböden ist bereits einwandfrei festgestellt worden, daß das Verfahren sich in seiner derzeitigen Ausführung zur Bestimmung des Düngebedürfnisses nicht bewährt hat. Andererseits hat es sich für die Ermittelung der Düngerbedürftigkeit der Mineralböden als durchaus brauchbar erwiesen, und eine Reihe von Untersuchungen ist vorhanden, bei denen es die Nährstoffverhältnisse der untersuchten Böden einwandfrei zum Ausdruck gebracht hat (vergl. Neubauer (7), Römer, Dirks und Günther (8), Engels-Hirschberger (17), Opitz, Benade (12). Allerdings fehlt es nicht an Ergebnissen, bei denen eine vollständige Uebereinstimmung mit gleichzeitig angestellten Düngungsversuchen nicht erzielt wurde (vergl. Lemmermann (14), Densch (11), Gerlach-Nolte (18), Blank (19)]. Im allgemeinen kann man annehmen, daß das Neubauerverfahren ungefähr zu 80% richtige Ergebnisse liefert. Diese Ergebnisse haben aber für die Ermittelung der Düngerbedürftigkeit nur qualitative Bedeutung, insofern, als das Verfahren angeben kann, ob im Boden genügende Nährstoffmengen vorhanden sind oder nicht. Kein Aufschluß dagegen wird man durch dasselbe über die Höhe der anzuwendenden Düngemengen erhalten.

Nach allem, was im Voranstehenden über die heute zur Verfügung stehenden Methoden gesagt worden ist, können diese, besonders aber die neueren pflanzenphysiologischen Methoden, bestimmte Anhaltspunkte über das Düngebedürfnis und den Nährstoffvorrat der Böden abgeben. Wenn auch für sie im einzelnen noch größere Sicherheit hinsichtlich ihrer Ergebnisse verlangt werden muß, so können sie dem Landwirt sichere Hinweise geben, wie er zu düngen hat. Auf Grund seiner Kenntnisse über das vorhandene Nährstoffkapital wird er häufig an gewissen Düngemitteln sparen können. Es wird dies häufig für Kali und Phosphorsäure, von denen sicherlich in manchen Böden ein Vorrat auf Jahre hinaus vorhanden ist, der Fall sein. Hierdurch ist ihm aber die Möglichkeit gegeben, die Kunstdünger wesentlich rentabler anzuwenden und höhere Reinerträge zu erzielen, ohne eine Verminderung der Ernte befürchten zu müssen. Dazu aber ist notwendig, daß er sich diese neuen Fortschritte und Errungenschaften der Wissenschaft in vollem Umfange zu Nutze macht.

## Experimenteller Teil.

Die weiter unten besprochenen Versuche sollen ebenfalls zu einer Klärung für die Neubauermethode wichtiger Grundlagen dienen. Als solche erschien uns vor allem die Frage, wie bekannte, leichtlösliche Phosphatmengen, die infolge ihrer Leichtlöslichkeit als wurzellöslich anzusehen sind, von den Keimpflanzen verwertet werden, und bis zu welchem Grade dies geschieht.

Anlaß zu diesen Versuchen gaben uns Untersuchungen, die Neubauer über diese Frage angestellt hatte, und deren Resultate er auf der 44. Hauptversammlung des Verbandes der landwirtschaftlichen Versuchsstation i. D. R. zu Weimar (20) mitgeteilt hatte. Neubauer führte damals aus: „Wenn mein Verfahren brauchbar ist, so müssen die jungen Pflanzen auch auf die künstliche Zugabe von Nährstoffen reagieren ... Bei der Phosphorsäure in Sandkulturen fanden wir folgendes: Zugabe von 17 mg zitronensäurelöslicher Phosphorsäure in Form von Thomasmehl oder Rhenaniaphosphat bewirkte eine Aufnahme von nur 2 mg. Zusatz von Kaliumnitrat erhöhte sie ein wenig auf 2,5 mg. Von 21 mg Phosphorsäure als gefälltes Dikalziumphosphat wurden wesentlich mehr, nämlich 8 bis 9 mg aufgenommen, die durch Zugabe von Kaliumkarbonat nur unwesentlich auf 10 mg, durch Zugabe von Kaliumnitrat aber deutlich auf 13 mg gesteigert wurde. 21 mg Phosphorsäure als Monokalziumphosphat gaben dann auch die hohe Ausbeute von 13 mg Phosphorsäure. In reinen Sand war also eine sehr schlechte Wirkung der Glühphosphate, eine bessere Wirkung des gefällten Kalziumphosphates und eine die der Glühphosphate sehr in Schatten stellende Wirkung der wasserlöslichen Phosphorsäure zu beobachten."

Die verschiedene Aufnahme der zugesetzten Phosphate einerseits, sowie die geringe Wirkung der Glühphosphate andererseits waren der Grund, diese Versuche fortzusetzen und zu erweitern. Wir beschränkten uns deshalb nicht, wie zuerst vorgenommen, auf die leichtlöslichen Phosphate, sondern zogen auch schwerlösliche Phosphate und die in der Praxis üblichen Phosphorsäuredüngemittel zu den Untersuchungen heran. Es wurden folgende Phosphate bzw. Düngemittel untersucht:

A. Chemisch reine Salze.

I. Primäre Phosphate:

1. Natriumphosphat, 2. Monokalziumphosphat, 3. Monomagnesiumphosphat.

II. Secundäre Phosphate:

1. Dikalziumphosphat, 2. Dimagnesiumphosphat.

III. Tertiäre Phosphate:

1. Trikalziumphosphat, 2. Trimagnesiumphosphat, 3. Eisenphosphat, 4. Aluminiumphosphat.

B. Düngephosphate.

I. Wasserlösliche Phosphate:

1. Superphosphat.

II. Zitronensäure-, bzw. zitratlösliche Phosphate:

1. Thomasmehl, 2. Rhenaniaphosphat.

III. Schwerlösliche Phosphate:

1. entleimtes Knochenmehl, 2. entfettetes Knochenmehl.

Was die Herkunft der angewandten Phosphate anbelangt, so stammten die unter A. aufgezählten Phosphorsäuresalze sämtlich aus der chemischen Fabrik C. A. F. Kahlbaum, Berlin, die Phosphorsäuredüngemittel teils aus Proben, die zur Untersuchung an die hiesige Kontrollstation eingesandt waren, teils bezogen wir sie von den Werken selbst.

### A. Versuchsanordnung.

Im folgenden soll zuerst auf die von uns angewandte Versuchsordnung eingegangen werden. Im allgemeinen sahen wir darauf, die von Neubauer (6) für die Ausführung der Bodenuntersuchung vermittels Keimpflanzen gegebenen Vorschrift einzuhalten. Es waren jedoch für die Durchführung unserer Versuche gewisse Aenderungen an dieser Vorschrift erforderlich, die sich aus der besonderen Art der Fragestellung ergaben.

Bekanntlich geht H. Neubauer bei seinen Untersuchungen von 100 g Boden aus, die er, um den Einfluß der physikalischen Bodeneigenschaften auszuschalten, mit 50 g Glassand vermischt. Bei unseren rein theoretischen Untersuchungen war es jedoch nicht angängig, Boden als Grundlage zu den Versuchen zu wählen. Wir mußten vielmehr von einem indifferenten Substrat ausgehen, möglichst frei von Nährstoffen, besonders Phosphorsäure, bei dem man nicht mit unbekannten Faktoren zu rechnen hat. Aus diesem Grunde wählten wir an Stelle von Boden Hohenbockaer Glassand, ein Bodenmaterial, das diesen Anforderungen am nächsten kommt und auch für die Klärung wissenschaftlicher Fragen bei Gefäßversuchen allgemein benutzt wird.

Es wurden im ganzen 150 g Sand genommen und mit den einzelnen Phosphaten, sowie mit einer Grunddüngung versehen. Es entsprachen also die 150 g Sand + Phosphat + Grunddüngung der bei der Keimpflanzmethode angewandten Bodenmenge, vermischt mit 50 g Sand, und bildeten gleichsam für unsere Versuche einen künstlichen Boden.

Was das Zusetzen der Phosphate anbelangt, so beschränkten wir uns nicht wie Neubauer (20) mit einer Gabe von beliebiger Höhe, sondern wählten mehrere Gaben, die wir in steigenden Mengen dem Sande zusetzten. Durch die Wahl mehrerer Gaben schufen wir einerseits für die Ergebnisse unserer Untersuchungen eine breitere Grundlage, andererseits hofften wir, durch die Anwendung von steigenden Mengen zu einer gewissen Gesetzmäßigkeit bei der Aufnahme der Phosphorsäure zu kommen.

Bezüglich der Berechnung der Phosphorsäuregaben legten wir bei den chemisch reinen Salzen den Gesamtphosphorsäuregehalt, bei den Düngesalzen den im Handel üblichen Gehalt zu Grunde, da dieser dem im Boden wirksamen Anteil entspricht. So wurden beim

Superphosphat von der wasserlöslichen, beim Rhenaniaphosphat von der zitratlöslichen und beim Thomasmehl von der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure ausgegangen, während bei dem Knochenmehl die Berechnung auf Grund der Gesamtphosphorsäure erfolgte.

Die Phosphate wurden mit Ausnahme des Natriumphosphates in fester Form zugesetzt. Da dieses Phosphat sauer reagiert, und wir eine Beeinflussung der Phosphorsäureaufnahme durch die saure Reaktion vermeiden wollten, wandten wir eine neutrale Lösung an, die wir nach dem Vorschlag von Kolthoff (21) aus einer $^1/_{15}$ mol primären und $^1/_{15}$ mol sekundären Natriumphosphatlösung herstellten und in dem Verhältnis 3,5 : 6,5 mischten. Die Messung der Lösung ergab eine Wasserstoffionenkonzentration von 7,0 Ph. Bei den übrigen Phosphaten, die in fester Form zugesetzt wurden, bestand die Schwierigkeit einer nicht ganz gleichmäßigen Verteilung in dem Sande, so daß der Einwand erhoben werden konnte, daß sich Phosphatnester gebildet hätten, und hierdurch eine unvollständige Aufnahme der gegebenen Phosphorsäure erzielt worden wäre. Besonders bei dem Zusatz des Thomasmehls konnten wir beobachten, daß dieses in dem trockenen Sande beim Vermischen auf den Boden der Glasschale fiel und dort unvermischt liegen blieb. Wir halfen uns infolgedessen dadurch, daß wir vor dem Zusetzen der Gaben den Sand mit einer ganz geringen Menge destillierten Wassers schwach anfeuchteten, so daß der Sand eine schwach krümelige Struktur annahm, dann erst die Gaben zusetzten und sie mit dem Glasspatel sorgfältig mit dem Sande durchmischten. Auf diese Weise wurde eine gute Verteilung erzielt, auch wurde der oben geschilderte Vorgang nicht beobachtet.

Außerdem hielten wir es für zweckmäßig und unbedingt notwendig, den Gefäßen eine Grunddüngung zu geben. Schon die Versuche Neubauers (20) in Sandkulturen zeigen, daß bei Fehlen einer Beidüngung von Stickstoff und Kali die Phosphorsäure nicht in dem Maße von den Keimpflanzen aufgenommen wurde, wie es bei einer Zufuhr von Stickstoff und Kali der Fall war.

Bezüglich der Zusammensetzung der Grunddüngung hielten wir uns an die bei der Praxis der Gefäßversuche übliche. Hinsichtlich der Höhe bewegten wir uns im Dunkeln, da bei Inangriffnahme der Arbeit dergleichen Untersuchungen in der Literatur noch nicht veröffentlicht waren, auf die wir uns stützen konnten, und auch Neubauer bei den oben erwähnten Sandkulturen keine Angaben über die Höhe der zugesetzten Kali- und Stickstoffsalze gemacht hatte. Wie hielten es jedoch für notwendig, die Keimpflanzen in Bezug auf Kali und Stickstoff so reichlich zu stellen, daß sie während der Vegetationsperiode keinen Mangel leiden konnten, und dadurch die Phosphorsäureaufnahme herabgedrückt wurde. Die Grunddüngung setzte sich pro Gefäß folgendermaßen zusammen:

50 mg $K_2O$ in Form von $K_2SO_4$ = 0,0925 g $K_2SO_4$,
20,8 mg N in Form von $NaNO_3$ = 0,1264 g $NaNO_3$,
20,8 mg $MgSO_4$ 7aq,
10,4 mg NaCl,
8,3 mg $FeSO_4$ 7aq.

Außerdem erhielten die Gefäße eine Gabe von je 30 mg kohlensauren Kalk, mit Ausnahme der Gefäße, bei denen als Differenzdüngung Kalkphosphate gegeben waren. Der Kalk wurde in fester Form dem Sande zugemischt; die übrigen Salze wurden in zwei Lösungen zugegeben, und zwar enthielt Lösung I in 25 ccm die oben angegebenen Mengen von Kaliumsulfat, Natriumnitrat, Magnesiumsulfat und Kochsalz, während in 5 ccm der Lösung II das Eisensulfat gelöst war.

Im übrigen wurde das Ansetzen genau nach der Vorschrift von Neubauer durchgeführt, wie aus dem nachfolgenden Schema hervorgeht:

| | |
|---|---|
| Sand als Bodenschicht + Phosphat- und evtl. Kalkgabe | 150 g |
| Hierauf Grunddüngung . . . . . | 30 ccm |
| Sand . . . . . | 200 g |
| Mit destilliertem Wasser angefeuchtet, darin . . . . | 50 ccm |
| 100 Körner gepflanzt, Sand als Deckschicht . . . . | 50 g |

Die Gesamtmenge des Sandes betrug demnach 400 g, die des Wassers mit Einschluß der in der Grunddüngung enthaltenen Menge 80 ccm. Als Saatgut wurde Original-Petkuser Winterroggen benutzt mit einer Keimfähigkeit von 98 %.

Die Keimpflanzen entwickelten sich mit Ausnahme der mit Natriumphosphat gedüngten Reihe normal. Ein besseres Wachstum zeigten nur die mit einer Düngung versehenen Gefäße den Blindgefäßen gegenüber. Innerhalb der einzelnen Phosphatreihen waren Unterschiede im Wachstum nicht vorhanden. Dagegen zeigte die Ausbildung des Wurzelnetzes in der Natriumphosphatreihe eine merkliche Abnahme, je höher die Phosphatmengen gesteigert wurden. Bei den niedrigsten Gaben, bis einschließlich 15,2 mg $P_2O_5$, konnte eine Veränderung nicht beobachtet werden. Die Wurzeln bildeten wie gewöhnlich ein dichtes, in sich verflochtenes und verfilztes Netz. Mit der weiteren Erhöhung der Gaben jedoch wurden die Wurzelfasern immer feiner, die Wurzelmasse nahm mehr und mehr an Stärke ab, bis schließlich bei der höchsten Gabe von 76 mg $P_2O_5$ die Keimpflanzen nur wenige, schwache, stark gekrümmte Wurzelfasern gebildet hatten, die lose, ohne zusammenzuhängen im Sande steckten. Es hatte die neutrale Natriumphosphatlösung, in steigenden Mengen zugesetzt, nicht günstig auf die Entwicklung der jungen Pflanzen eingewirkt.

Die Ernte in den Gefäßen geschah am 18. Tage. Bei der Bestimmung der aufgenommenen Phosphorsäure erfolgte eine Verein-

fachung des Analysenganges in der Weise, daß das von den Pflanzen aufgenommene Kali nicht berücksichtigt, und deshalb eine Trennung des Kali von der Phosphorsäure nicht durchgeführt wurde. Die veraschte Erntesubstanz wurde daher sofort zweimal mit verdünnter Salpetersäure bis zur Trockene eingedampft, mit wenig salpetersäurehaltigem, heißem Wasser in 125 ccm Meßkolben überspült, und auf Marke aufgefüllt und in einen Erlenmeyerkolben filtriert. Von dem Filtrat wurden 50 ccm zur Fällung der Phosphorsäure nach der Lorenz'schen Molybdänmethode verwandt. Die gefundenen Phosphorsäuremengen mit 2,5 multipliziert, ergaben dann die Gesamtmenge der von den Pflanzen aufgenommenen Phosphorsäure.

Für die Berechnung der wurzellöslichen Phosphorsäure legten wir den Blindversuch zu Grunde, und zwar haben wir jedesmal, wenn an einem Tage Versuche angesetzt wurden, gleichzeitig Blindbestimmungen ausgeführt.

Dabei erhielten wir folgende Werte*):
6,22 mg, 5,70 mg, 5,48 mg, 5,52 mg, 5,27 mg, 5,37 mg, 5,18 mg, 4,99 mg
4,90 mg, 5,07 mg, 5,37 mg, 5,31 mg, 5,42 mg, 4,97 mg, 4,81 mg, 5,06 mg

Wie aus der Zusammenstellung hervorgeht, liegen die Werte der vier zuerst angeführten Blindbestimmungen um ein beträchtliches höher als die nächstfolgenden. Hierzu ist zu bemerken, daß wir zwar für alle Versuche, wie bereits erwähnt, die gleiche Roggensorte benutzt haben, daß wir aber uns zwischendurch neues Saatgut besorgen mußten, da das bisher benutzte Saatgut verbraucht war. Das neue Saatgut kam erstmalig mit dem Wert 5,27 mg zur Anwendung. Aus diesem Grunde kann das Saatgut nicht als einheitlich angesehen werden, zumal es denkbar ist, daß z. B. der neubezogene Roggen infolge der abweichenden Bedingungen, unter den er bis zu seiner Verwendung aufbewahrt wurde, in seinem Wassergehalt so verändert war, daß hierdurch die zum Teil recht bedeutend niedriger liegenden Werte hervorgerufen sein könnten.

Vergleicht man die Analysenergebnisse der mit dem letzten Saatgut ausgeführten Bestimmungen, so zeigen diese ebenfalls untereinander ziemliche Unterschiede. Die Differenz z. B. zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert, auf 1 g Korn berechnet, beträgt nicht weniger als über 0,6 mg $P_2O_5$. Auf den ersten Blick mag diese Differenz als nicht sehr bedeutend erscheinen, zumal schon die Schwankungen innerhalb der einzelnen Parallelen ein und desselben Versuches bis zu 1,5 mg Phosphorsäure betragen können. Bedenkt man aber, daß dieser Unterschied von über 0,6 mg $P_2O_5$ bei Werten, die auf 1 g Korn berechnet sind, vorhanden ist, wir jedoch diesen Wert mit dem jeweiligen 100-Korngewicht multiplizieren und von der in der Analyse gefundenen Phosphorsäuremenge abziehen müssen,

*) Die Einzelergebnisse sind in der Originalarbeit angegeben.

um die wurzellösliche Phosphorsäure berechnen zu können, so sieht man, daß in Wirklichkeit der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert bedeutend größer ist, nämlich um das Gewicht, das für die abgezählten 100 Körner jeweils gilt. Unter Zugrundelegung eines durchschnittlichen 100-Korngewichtes von 4 g würde man also bei der Berechnung der wurzellöslichen Phosphorsäure, je nachdem man den höchsten Wert von 5,42 mg $P_2O_5$ oder den niedrigsten Wert von 4,81 mg $P_2O_5$ anwendet, ein Ergebnis erhalten, das um $0{,}6 \times 4 =$ rund 2,5 mg $P_2O_5$ differiert. Ein Unterschied von 2,5 mg $P_2O_5$ fällt aber um so mehr ins Gewicht, als wir gerade bei der Phosphorsäure in der Praxis mit äußerst geringen Aufnahmewerten zu tun haben. Bei einem Wert von 8 mg $P_2O_5$ bedeutet aber eine lediglich durch die Blindbestimmung bedingte Differenz von 2,5 mg einen sehr bedeutenden Ausfall. Daraus geht die Wichtigkeit der Blindbestimmungen für die Aufnahme der wurzellöslichen Nährstoffe hervor. Diese sind jedenfalls häufiger auszuführen, als es für gewöhnlich in der Praxis der Massenuntersuchung geschieht. Keineswegs aber genügt es, mit dem Saatgut eine einmalige Blindbestimmung vorzunehmen. Es dürfte sich vielmehr empfehlen, zu jeder Versuchsreihe auch Blindbestimmungen anzusetzen, um auf diese Weise Fehlern vorzubeugen.

### B. Der Einfluß des Kalkes auf die Phosphorsäureaufnahme.

Bevor wir an die von uns gestellte Aufgabe herangingen, suchten wir durch Versuche festzustellen, welchen Einfluß ein Zusatz von kohlensauren Kalk auf die Aufnahme der Phosphorsäure in Sandkulturen ausübt. Eine Nachprüfung dieser Frage erschien uns aus folgender Ueberlegung notwendig. Bei den Phosphaten, deren Säurerest an einem andern Metall als an Kalzium gebunden war, hatten wir in der Grunddüngung eine Gabe von 30 mg kohlensauren Kalk vorgesehen, um das Bedürfnis der Keimpflanzen an diesen Nährstoff sicher zu stellen. Da wir aber außer diesen Phosphaten noch an Kalk gebundene Phosphorsäureverbindungen anwandten, so war die Frage, ob bei diesen die Mengen an Kalk genügten, die zusammen mit der Phosphorsäure dem Sande zugesetzt wurden, um das Kalkbedürfnis der Keimpflanzen zu decken, oder ob vielmehr eine Gabe von kohlensauren Kalk bei ihnen zur Folge hatte, daß dadurch die Phosphorsäure für die jungen Roggenpflanzen schwerer löslich wurde.

Die Untersuchungen, die wir bei Inangriffnahme der Arbeit vorfanden, hatten diese Frage in bezug auf Böden zu lösen gesucht. Es lag nun auf der Hand, daß diese Versuche je nach den Eigenschaften der Böden zu verschiedenen Resultaten kommen würden, und so zeigen auch die verschiedentlich ausgeführten Untersuchungen in ihren Ergebnissen keine Uebereinstimmung. Während D e n s c h (11)

in 5 von 13 Fällen durch eine Gabe von 25—50 mg kohlensauren Kalk eine steigernde Wirkung auf die Phosphorsäureaufnahme beobachtete, Günther (22) jedoch bei seinen Versuchen keinen Einfluß finden konnte, ergaben die Versuche von Opitz und Benade (12) eine Festlegung der Phosphorsäure durch den Kalk. Diese mit Böden ausgeführten Untersuchungen ließen infolge ihrer sich widersprechenden Ergebnisse keinen Schluß für die Wirkung des Kalkes bei Sandkulturen zu, so daß wir die Frage erneut einer Nachprüfung unterzogen.

Zu diesem Zweck stellten wir zwei Versuche mit zwei verschiedenen Phosphatverbindungen an, die wir neben einer Grunddüngung in mehreren Gaben dem Glassand zusetzten. Als Phosphorsäurequelle diente uns Dikalziumphosphat und Thomasmehl. Von jedem Phosphat wurden zwei Reihen gebildet, und zwar erhielt die eine Reihe eine Zudüngung von 60 mg kohlensauren Kalk, während die andere ohne eine Zudüngung blieb.

Die Aufnahme der Phosphorsäure gestaltete sich bei dem Versuch mit Dikalziumphosphat folgendermaßen:

**Tabelle I.**

**Steigende Gaben von Dikalziumphosphat*).**

| a) ohne Kalk | | | b) mit Kalk | | |
|---|---|---|---|---|---|
| gegeben mg $P_2O_5$ | Aufnahme mg $P_2O_5$ | Ausnutzung % | gegeben mg $P_2O_5$ | Aufnahme mg $P_2O_5$ | Ausnutzung % |
| 4 | 3,20±0,313 | 80,0 | 4 | 3,24±0,038 | 81,0 |
| 8 | 6,18±0,244 | 77,3 | 8 | 6,30±0,180 | 78,8 |
| 16 | 9,72±0,214 | 60,8 | 16 | 9,24±0,213 | 57,8 |
| 32 | 16,78±0,240 | 52,4 | 32 | 16,03±0,339 | 50,1 |
| 50 | 18,02±0,182 | 36,0 | 50 | 17,58±0,184 | 35,2 |
| 75 | 20,34±0,116 | 27,1 | 75 | 18,75±0,221 | 25,0 |

Die Gegenüberstellung der gekalkten und ungekalkten Reihe läßt eine Wirkung des Kalkes auf die Aufnahme der Phosphorsäure nicht erkennen. Vielmehr hatten die Keimpflanzen in beiden Reihen ungefähr dieselben Phosphorsäuremengen aufgenommen. Von 50 mg zugegebener Phosphorsäure z. B. waren in der gekalkten Reihe 17,58 mg $P_2O_5$ = 35,2 %, in der ungekalkten Reihe 18,02 mg $P_2O_5$ = 36 % verwertet worden. Die Phosphorsäureaufnahme stieg in der ungekalkten Reihe von 3,20 mg bei 4 mg auf 20,34 mg bei 75 mg

*) Die Einzelergebnisse sind in der Originalarbeit angegeben.

zugesetzter Phosphorsäure, in der gekalkten Reihe von 3,24 mg auf 18,75 mg Phosphorsäure. Die Ausnutzung sank dementsprechend von 80 % auf 27,1 %, bzw. von 81 % auf 25 %. Wenn auch die Werte der ungekalkten Reihe von 16 mg zugesetzter Phosphorsäure an aufwärts etwas höher lagen als die entsprechenden Zahlen in der mit einer Kalkdüngung versehenen Reihe, so sind diese Unterschiede doch zu gering, um aus ihnen auf eine Festlegung der Phosphorsäure schließen zu können, zumal die Mehrerträge innerhalb des vierfach wahrscheinlichen Fehlers liegen.

Der zweite Versuch mit Thomasmehl läßt ebenfalls eine Wirkung des Kalkes auf die Aufnahme nicht erkennen. Bei diesem Phosphat beschränkten wir uns auf zwei Gaben in Höhe von 8 mg und 16 mg zitronensäurelöslicher Phosphorsäure, denen wir, wie vorher, einmal 60 mg kohlensauren Kalk zusetzten, das andere Mal nicht. Leider traten die Resultate bei diesem Versuch infolge der niedrigen Aufnahme der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure durch die Keimpflanzen und der außergewöhnlich geringen Steigerung zwischen den gewählten Gaben von 8 und 16 mg nicht so deutlich hervor. Immerhin kann man aus den Ergebnissen einen Einfluß des Kalkes auf die Phosphorsäureaufnahme nicht feststellen, wie folgende Tabelle zeigt.

**Tabelle II.**

**Steigende Gaben von Thomasmehl*).**

| a) ohne Kalk | | | b) mit Kalk | | |
|---|---|---|---|---|---|
| gegeben mg $P_2O_5$ | Aufnahme mg $P_2O_5$ | Ausnutzung % | gegeben mg $P_2O_5$ | Aufnahme mg $P_2O_5$ | Ausnutzung % |
| 8 | 4,08±0,165 | 51,0 | 8 | 3,90±0,242 | 48,8 |
| 16 | 4,23±0,157 | 26,5 | 16 | 4,41±0,124 | 27,6 |

Als Ergebnis der Versuche mit Dikalziumphosphat einerseits, Thomasmehl andererseits läßt sich zusammenfassend folgendes sagen:

Durch die Zugabe von 60 mg kohlensauren Kalk war bei unseren Versuchen weder die Phosphorsäureaufnahme gesteigert, noch die im Sande vorhandenen Phosphorsäuremengen festgelegt worden. Die Pflanzen der ungekalkten, sowie der gekalkten Reihe hatten vielmehr bei beiden Versuchen die gleichen Phosphorsäuremengen aufgenommen. Ein Einfluß des Kalkes auf die Phosphorsäureaufnahme in Sandkulturen konnte daher nicht festgestellt werden.

*) Die Einzelergebnisse sind in der Originalarbeit angegeben.

## C. Die Phosphorsäureaufnahme aus verschiedenen Phosphaten.

### a) Versuche mit chemisch reinen Salzen.

Im folgenden ist nun die Frage untersucht worden, wie die Aufnahme der Phosphorsäure verläuft, wenn den Keimpflanzen Phosphorsäure in verschiedener Form und in steigenden Mengen geboten wurde. Zu diesem Zweck hatten wir, wie bereits oben erwähnt, eine Reihe von Versuchen mit verschiedenen Phosphaten, so wohl mit chemisch reinen Salzen, als auch mit künstlichen Düngemitteln, angestellt.

Die Ergebnisse der Versuche mit chemisch reinen Salzen, auf die zuerst eingegangen werden soll, sind in der Tabelle III zusammengestellt.

Weiter oben war bereits auf den Umstand aufmerksam gemacht worden, daß durch größere Mengen von Natriumphosphat die Ausbildung der Wurzelmasse gelitten hatte. Es lag daher die Vermutung nahe, daß dadurch eine Depression der Phosphorsäureaufnahme hervorgerufen sein könnte. Betrachtet man darauf hin die Aufnahme des Natriumphosphates, so zeigen die Werte eine rasche Zunahme bis zur Gabe von 30,4 mg $P_2O_5$. Bei dieser Gabe hatten die Pflanzen 18,85 mg $P_2O_5$ = 62 % aufgenommen. Mit der weiteren Erhöhung der Gaben von 30,4 mg $P_2O_5$ auf 53,2 und 76 mg $P_2O_5$ stieg die Aufnahme nur in sehr geringem Maße auf 19,53 mg $P_2O_5$ = 36,7 %, bzw. 20,54 mg $P_2O_5$ = 27 %. Von 30,4 mg zugegebener Phosphorsäure an aufwärts blieb die Aufnahme also ziemlich auf gleicher Höhe. Man könnte nun annehmen, daß mit ungefähr 19—20 mg aufgenommener Phosphorsäure die Grenze der Aufnahmefähigkeit der Keimpflanzen für Phosphorsäure erreicht wäre, und eine weitere Aufnahme über diese Grenzen hinaus nicht erfolgen könnte. Diese Annahme dürfte jedoch nicht zutreffen; denn ein Vergleich mit anderen wasserlöslichen Phosphorsäureverbindungen zeigt, daß die Pflanzen bei weitem mehr Phosphorsäure aufzunehmen in der Lage sind. So sind bei dem primären Kalziumphosphat z. B. allein bei 75 mg zugegebener Phosphorsäure rund 57 mg Phosphorsäure aufgenommen worden, also fast dreimal so viel, als bei 76 mg zugegebener Phosphorsäure beim Natriumphosphat der Fall war. Es ist daher wahrscheinlich, daß die Erhöhung der zugegebenen Natriumphosphatmengen eine depressive Wirkung auf die Phosphorsäureaufnahme zur Folge hatte, die schon rein äußerlich in der schwächeren Entwicklung der Wurzelmasse zum Ausdruck kam.

Was die Aufnahme und Ausnutzung der dargereichten Phosphorsäuremengen anbelangt, so zeigen unsere Versuche, daß diese bei den Phosphaten nicht vollständig gewesen ist. Eine quantitative Aufnahme hat im allgemeinen nicht stattgefunden. Eine Annäherung an quantitative Verhältnisse findet sich nur bei der niedrigsten Gabe,

## Tabelle III.

### $P_2O_5$ Aufnahme aus verschiedenen Phosphaten*).

| Gegeben mg $P_2O_5$ | Natrium-phosphat | | Monokalzium-phosphat | | Dikalzium-phosphat | | Trikalzium-phosphat | | Monomagnesium-phosphat | | Dimagnesium-phosphat | | Trimagnesium-phosphat | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Aufgenommen mg. $P_2O_5$ | Ausnutz. % | Aufgenommen mg $P_2O_5$ | Ausnutz. % | Aufgenommen mg $P_2O_5$ | Ausnutz. % | Aufgenommen mg. $P_2O_5$ | Ausnutz. % | Aufgenommen mg. $P_2O_5$ | Ausnutz. % | Aufgenommen mg. $P_2O_5$ | Ausnutz. % | Aufgenommen mg. $P_2O_5$ | Ausnutz. % |
| 4 [1] ⟨3,8⟩ | 3,64±0,097 | 95,8 | 3,91±0,213 | 97,8 | 3,44±0,168 | 86,0 | 1,01±0,182 | 25,3 | 3,60±0,188 | 90,0 | 3,71±0,256 | 92,8 | 3,38±0,144 | 84,5 |
| 8 ⟨7,6⟩ | 7,45±0,119 | 98,0 | 7,26±0,205 | 90.08 | 7,07±0,158 | 88,4 | 2,09±0,165 | 26,1 | 7,17±0,196 | 89,6 | 6,88±0,184 | 86,0 | 6,80±0,133 | 85,0 |
| 16 ⟨15,2⟩ | 12,68±0,261 | 83,4 | 13,35±0,218 | 83,4 | 14,22±0,147 | 88 9 | 3,61±0,153 | 22,6 | 13,87±0,205 | 86,7 | 12,02±0,170 | 75,1 | 11,29±0,167 | 70,6 |
| 32 ⟨30,4⟩ | 18,85±0,101 | 62,0 | 30,04±0,170 | 93,9 | 21,87±0,137 | 68,3 | 4,62±0,096 | 14,4 | 27,68±0,170 | 86,5 | 19,66±0,129 | 61,4 | 14,99±0,167 | 46,8 |
| 50 ⟨53,2⟩ | 19,53±0,125 | 36,7 | 41,38±0,152 | 82,8 | 25,61±0,134 | 51,2 | 5,78±0,234 | 11,6 | 40,15±0,183 | 80,3 | 29,72±0,174 | 59,4 | 14,99±0,155 | 39,3 |
| 75 ⟨76⟩ | 20,54±0,422 | 27,0 | 57,40±0,203 | 76,5 | | | | | 44,83±0,119 | 59,8 | 28,83±0,241 | 38,4 | | |
| 100 | | | | | | | 9,75±0,292 | 9,8 | | | | | 20,92±1,50 | 20,9 |
| Blindversuch | 5,48 in 1 g Korn | | 5,31 in 1 g Korn | | 5,37 in 1 g Korn | | 5,27 in 1 g Korn | | 5,42 in 1 g Korn | | 5,18 in 1 g Korn | | 5,18 in 1 g Korn | |

| | Eisenphosphat | | Aluminiumphosphat | | Superphosphat | | Rhenaniaphosphat | | Thomasmehl | | entl. Knochenmehl | | entfett. Knochenm. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 1,54±0,108 | 38,5 | 1,70±0,090 | 42,5 | 4,02±0,104 | 100,5 | 3,76±0,127 | 95,5 | 3,57±0,093 | 89,0 | 1,24±0,121 | 31,1 | 1,75±0,241 | 43,8 |
| 8 | 2,20±0,183 | 27,5 | 2,14±0,157 | 26,8 | 6,36±0,133 | 79,5 | 7,01±0,206 | 87,6 | 5,18±0,041 | 64,8 | 1,61±0,170 | 20,1 | 2,43±0,031 | 30,4 |
| 16 | 2,45±0,053 | 15,3 | 3,67±0,114 | 22,9 | 10,10±0,173 | 63 1 | 9,24±0,232 | 57,8 | 5,80±0,266 | 36,3 | 3,59±0,395 | 22,4 | 3,95±0,134 | 24,7 |
| 32 | 4,17±0,178 | 13,0 | 4,39±0,101 | 13,7 | 16,83±0,128 | 52,6 | 10,74±0,257 | 33,6 | 5,52±0,280 | 17,3 | 3,18±0,121 | 9,9 | 4,71±0,327 | 14,7 |
| 50 | 6,04±0,242 | 12,1 | 5,29±0,105 | 10,6 | 23,21±0,189 | 46,4 | 11,44±0,241 | 22,9 | 7,41±0,115 | 14,8 | 3,65±0,044 | 9,3 | 4,76±0,228 | 9,5 |
| 75 | | | | | 32,75±0,158 | 43,7 | | | | | | | | |
| 100 | 9,77±0,142 | 9,8 | 8,06±0,209 | 8,1 | | | | | 9,27±0,129 | 9,3 | 6,38±0,305 | 6,4 | 7,23±0,088 | 7,2 |
| Blindversuch | 4,97 in 1 g Korn | | 4,81 in 1 g Korn | | 4,90 in 1 g Korn | | 5,52 in 1 g Korn | | 5,17 in 1 g Korn | | 4,99 in 1 g Korn | | 4,99 in 1 g Korn | |

Die eingeklammerten Zahlen der Spalte 1 sind die $P_2O_5$ — Mengen bei der Natriumphosphatreihe.

*) Die Einzelergebnisse sind in der Originalarbeit angegeben.

und zwar bei den leichtlöslichen Phosphaten. Hier betrug die Aufnahme bei Monokalziumphosphat 3,91 mg $P_2O_5$ = 97,8%, bei Monomagnesiumphosphat 3,60 mg $P_2O_5$ = 90 % bei Dikalzium- und Dimagnesiumphosphat 3,44 mg = 86 % bzw. 3,71 mg = 92,8 %. Die Phosphorsäure der schwerlöslichen Phosphate dagegen wurde, wie es sich von vornherein erwarten ließ, weit schlechter ausgenutzt. Bei 4 mg zugegebener Phosphorsäure betrug bei dem tertiären Kalziumphosphat die Ausnutzung nur 25,3 %, beim Eisenphosphat 38,50 % und beim Aluminiumphosphat 42,5 %.

Die Aufnahmewerte sind im allgemeinen nicht proportional den Mengen an Phosphorsäure, die den Pflanzen dargereicht wurden. Anders ist es ja auch nicht zu erwarten, denn sonst müßte man bei fortgesetzter Steigerung der Phosphorsäuremengen zu ganz unmöglichen Ergebnissen kommen. Eine Proportionalität in gewissen Grenzen läßt sich nur bei den primären Phosphaten in dem untersten Verlauf der Aufnahme erkennen, und war bis zu ca. 32 mg dargereichter Phosphorsäure. Dies würde auch mit den Ergebnissen übereinstimmen, die Kroß (10) bei seinem Versuch mit Monokalziumphosphat gefunden hat, daß nämlich bis zu einer Düngergabe von 40 mg Phosphorsäure sich eine Proportionalität zwischen zugesetzter und aufgenommener Phosphorsäure zeigte. Mit der weiteren Erhöhung der Phosphorsäuremengen blieb die Ausnutzung der gegebenen Phoshporsäure nicht auf derselben Höhe. Waren bis zur Gabe von 32 mg Phosphorsäure bei dem primären Kalzium- und Magnesiumphosphat die gegebenen Phosphorsäuremengen zu ungefähr 90 % ausgenutzt worden, so sank mit der Steigerung der gegebenen Phosphorsäure auf 50 mg die Ausnutzung langsam auf 82,8 % beim primären Kalziumphosphat, bzw. auf 80,3 % beim primären Magnesiumphosphat, bis sie bei 75 mg zugesetzter Phosphorsäure bei dem Kalziumphosphat rund 76 %, beim Magnesiumphosphat rund 60 % ausmachte. Bei den anderen Phosphaten war ein proportionaler Verlauf nicht erkennbar. Hier nahmen die Pflanzen im Verhältnis zur gegebenen Menge um so weniger Phosphorsäure auf, je mehr Phosphorsäure dem Boden zugesetzt wurde. Betrachtet man z. B. die Aufnahme, bzw. Ausnutzung des sekundären Magnesiumphosphates, so wurden bei 4 mg zugegebener Phosphorsäure 3,71 mg $P_2O_5$ = 92,8 %, bei 8 mg 6,88 mg $P_2O_5$ = 86 %, bei 16 mg 12,02 mg $P_2O_5$ = 75,1 % bei 32 mg 19,66 mg $P_2O_5$ = 61,40 %, bei 50 mg 29,72 mg = 59,4 % und bei 75 mg zugegebener Phosphorsäure 28,83 mg $P_2O_5$ = 38,4 % aufgenommen. Wir sehen also, daß bei diesem Phosphat die aufgenommene Phosphorsäure von 3,71 mg auf 28,3 mg stieg, daß aber zugleich mit dieser Steigerung die Ausnutzung sank, und zwar von rund 93 % auf rund 38 %. Bei den anderen Phosphaten lagen die Verhältnisse ähnlich, wie die in Tabelle III angegebenen Werte erkennen lassen.

Die Aufnahme und Ausnutzung der gegebenen Phosphorsäure ist bei den einzelnen Phosphaten sehr verschieden. Dieses ist auch nicht anders zu erwarten, da wir zu unseren Untersuchungen sowohl leicht, als auch schwer-lösliche Phosphorsäureverbindungen herangezogen haben. Am besten wurde die wasserlösliche Phosphorsäure der primären Phosphate ausgenutzt. Ihnen folgte an zweiter Stelle die der sekundären Phosphate. Im Anfang unterschied sich ihre Ausnutzung von der der primären Phosphate kaum. Mit der Erhöhung der dargereichten Phosphorsäuremengen trat aber bei den sekundären Phosphaten eine Abnahme der Phosphorsäureausnutzung ein, die früher und im größeren Ausmaße vor sich ging als bei den primären Phosphaten. War z. B. die unterste Gabe bei dem primären Magnesiumphosphat zu 90 %, bei dem sekundären Magnesiumphosphat zu 93 % ausgenutzt worden, so betrug die Ausnutzung des sekundären Phosphates bei 16 mg zugegebener Phosphorsäure nur noch 76,5 %, während die des primären Phosphates mit 86,7 % kaum gesunken war. 75 mg zugesetzte Phosphorsäure wurden endlich bei dem sekundären Magnesiumphosphat nur zu 38,4 % ausgenutzt, dagegen beim primären Magnesiumphosphat noch zu 59,8 %. Bei weitem geringer ausgenutzt wurde, wie es auch anders nicht zu erwarten war, die schwerlösliche Phosphorsäure der dreibasischen Phosphate. Schon die niedrigste Gabe war mit 25,3 % bei Trikalziumphosphat, bzw. 38,5 % beim Eisenphosphat und 42,5 % beim Aluminiumphosphat im Vergleich zu den leichtlöslichen Phosphorsäureverbindungen sehr schlecht von den Pflanzen verwertet worden. Mit der Erhöhung der Gaben sank dann auch die Ausnutzung weiter, bis sie bei 100 mg zugegebener Phosphorsäure nur noch ungefähr 9 % betrug.

Eine Ausnahme macht scheinbar das von uns benutzte, als tertiäres Magnesiumphosphat bezeichnete Phosphat. Nach den Aufnahmewerten, die wir für dieses Phosphat erhielten, ist es den leichtlöslichen Phosphorsäureverbindungen zuzurechnen, und zwar kommt es in seiner Aufnahmefähigkeit den sekundären Phosphaten nahe. Mit der Erhöhung der Phosphorsäuremengen von 4 mg auf 8 mg, 16 mg, 32 mg und 50 mg Phosphorsäure stieg die Aufnahme von 3,38 mg auf 6,80 mg, 11,29 mg, 14,99 mg, 19,63 mg Phosphorsäure. Im Vergleich dazu wurden von dem sekundären Magnesiumphosphat 3,71 mg, 6,88 mg, 12,02 mg, 19,66 mg und 29,72 mg Phosphorsäure aufgenommen, während die Aufnahme des tertiären Kalziumphosphat von 1,01 mg Phosphorsäure bei 4 mg auf 5,78 mg Phosphorsäure bei 50 mg zugegebener Phosphorsäure zunahm. Die bessere Verwertung der Phosphorsäure bei diesem Phosphat läßt nun vermuten, daß es sich bei ihm nicht um ein reines tertiäres Magnesiumphosphat handelt, sondern um ein Gemisch von tertiärem und sekundärem Magnesiumphosphat. Dies umso mehr, als auch schon Ungerer (23) in seiner Arbeit über „die Darstellung und Löslichkeitsverhältnisse

der Magnesiumphosphate im Vergleich zu Kalzium- und Aluminiumphosphat und ihre Verwertung durch Hafer und Gerste" nachweist, daß bei der Darstellung des tertiären Magnesiumphosphates je nach den Versuchsbedingungen (Temperatur, Mengenverhältnis der Reagentien) Verbindungen von sehr verschiedenem Phosphorsäuregehalt resultieren, welche aus wasserärmeren und wasserreicheren Salzen oder aus Gemischen von sekundärem mit tertiärem Phosphat bestehen. Eine von ihm ausgeführte Untersuchung eines als Trimagnesiumphosphat etikettierten Magnesiumphosphat der Firma Kahlbaum, Berlin, ergab, daß das Salz als ein Gemisch einer tertiären und sekundären Verbindung anzusprechen war. Nach Ungerer erklärten sowohl die Firma Kahlbaum, als auch die chemische Fabrik auf Aktien von E. Merck nicht in der Lage zu sein, ein neutrales tertiäres Salz zu liefern. Es ist daher wahrscheinlich, daß das von uns benutzte Salz, welches ebenfalls von der Firma Kahlbaum stammte, ein Gemisch von tertiärem und sekundärem Magnesiumphosphat war, und daß sich daraus die bessere Ausnutzung im Vergleich zu den anderen tertiären Verbindungen erklärt.

**b) Versuche mit Düngephosphaten.**

Bisher hatten wir die Aufnahme der Phosphorsäure aus chemisch reinen Salzen untersucht und dabei gefunden, daß die zugegebene Phosphorsäure unvollständig und je nach der Löslichkeit der angewandten Phosphorsäuresalze verschieden aufgenommen wurde, sodann, daß eine Proportionalität zwischen zugesetzter und aufgenommener Phosphorsäure nicht vorhanden war. Es fragte sich nun, wie die Verhältnisse bei den Düngephosphaten liegen würden. Ueber die Ergebnisse, die wir bei diesen Versuchen erzielten, gibt ebenfalls die Tabelle III Auskunft.

Was die Aufnahme und Ausnutzung der Phosphorsäure aus den Düngesalzen anbelangt, so findet das bei den reinen Salzen Gesagte bei ihnen Anwendung. Auch hier haben die Pflanzen die Phosphorsäure aus den leichtlöslichen Verbindungen, wie Superphosphat und Rhenaniaphosphat, bei der niedrigsten Gabe fast vollständig aufgenommen, während die Aufnahme bei der schwerlöslichen Knochenmehlphosphorsäure am geringsten war. Eine Proportionalität zwischen gegebener und aufgenommener Phosphorsäure waren nicht vorhanden. Wohl stieg die Aufnahme der Phosphorsäure mit Erhöhung der zugesetzten Mengen, jedoch stand die Aufnahme der höchsten Gabe zu der dargereichten Menge prozentual nicht in dem gleichen Verhältnis wie die der niedrigsten Gabe. Es sank also ebenfalls bei den Düngesalzen die Ausnutzung durch die Keimpflanzen mit gesteigerter Phosphorsäuremenge. Beim Superphosphat z. B. nahm die Phosphorsäureausnutzung von 100,5 % auf 43,7 %, beim Rhenaniaphosphat von 94 % auf 23,8 % und beim Thomasmehl von 85,5 % auf 7,4 % ab. Am schlechtesten war die Ausnutzung der

Knochenmehlphosphorsäure. Von 4 mg zugegebener Phosphorsäure wurden bei dem entleimten Knochenmehl 31 %, bei dem entfetteten 43,8 %, von 100 mg nur 6,3 % bzw. 7,2 % ausgenutzt. Auch hier zeigen die Phosphorsäuredüngesalze je nach ihrer Löslichkeit ein verschiedenes Verhalten. Die wasserlösliche Phosphorsäure des Superphosphates wurde am besten von den Pflanzen ausgenutzt. An zweiter Stelle stand das Rhenaniaphosphat, während die Phosphorsäure des Thomasmehls und der Knochenmehle am schlechtesten aufgenommen wurde.

Die Aufnahme der zitronenlöslichen Phosphorsäure des Thomasmehls erwies sich wider Erwarten als sehr gering. Die niedrigste Gabe in Höhe von 4 mg $P_2O_5$ wurde noch verhältnismäßig hoch mit 3,57 mg $P_2O_5$ = 89,3 % aufgenommen. Mit der weiteren Erhöhung der Gaben stieg die aufgenommene Phosphorsäure in äußerst geringem Maße und erreichte bei 100 mg zugegebener Phosphorsäure den Wert von 9,27 mg $P_2O_5$. Es erwies sich nach diesem Versuch die Phosphorsäure des Thomasmehles, die der Hauptmenge nach ein Tetrakalziumphosphat darstellt, für die Wurzeln der Roggenkeimlinge als sehr schwer aufnehmbar. Das ist um so auffälliger, als gerade das Thomasmehl nach seiner Löslichkeit in 2 %iger Zitronensäure bewertet wird, die Zitronensäure aber in der Konzentration von 1—2 % als ein den Pflanzenwurzeln in seinem Aufschlußvermögen nahe kommendes Lösungsmittel gilt.

Die schlechte Ausnutzung der Thomasmehlphosphorsäure gaben den Anlaß, den Versuch erneut einer Nachprüfung zu unterziehen. Gleichzeitig mit diesem Versuch wollten wir untersuchen, ob ein verschieden hoher Phosphorsäuregehalt, wie er bei den Düngephosphaten vorkommt, einen Einfluß auf die Phosphorsäureaufnahme durch die Keimpflanzen ausübt. Zu diesem Zweck beschränkten wir uns nicht nur auf die Untersuchung von zwei Thomasmehlen mit verschieden hohem Phosphorsäuregehalt, sondern zogen noch zwei Rhenaniaphosphate, ebenfalls mit verschieden hohem Gehalt, zur Untersuchung heran. Dadurch hatten wir außerdem noch die Möglichkeit unsern früheren Befund der Ueberlegenheit des Rhenaniaphosphates über das Thomasmehl bestätigt zu sehen. Der Phosphorsäuregehalt der angewandten Düngesalze war folgender:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Thomasmehl A. | | Rhenaniaphosphat A. | |
| Gesamt $P_2O_5$ | 21,4 % | Gesamt $P_2O_5$ | 30,4 % |
| zitronensäurelösl. $P_2O_5$ | 20,4 % | zitratlösl. $P_2O_5$ | 30,1 % |
| Thomasmehl B. | | Rhenaniaphosphat B. | |
| Gesamt $P_2O_5$ | 16,5 % | Gesamt $P_2O_5$ | 24,2 % |
| zitronensäurelösl. $P_2O_5$ | 16,1 % | zitratlösl. $P_2O_5$ | 23,4 % |

Die Phosphate wurden nach der Gesamtphosphorsäure angesetzt.

**Tabelle IV.**

**Vergleich zwischen 2 Thomasmehlen und 2 Rhenaniaphosphaten*).**

| gegeben mg $P_2O_5$ | aufgenommen mg $P_2O_5$ | Ausnutzung % | gegeben mg $P_2O_5$ | aufgenommen mg $P_2O_5$ | Ausnutzung % |
|---|---|---|---|---|---|
| Thomasmehl A. | | | Rhenaniaphosphat A. | | |
| 8 | 4,87±0,218 | 60,9 | 8 | 7,46±0,182 | 93,3 |
| 16 | 6,04±0,120 | 37,8 | 16 | 13,43±0,242 | 83,9 |
| 32 | 6,69±0,210 | 20,9 | 32 | 16,35±0,249 | 51,1 |
| Thomasmehl B. | | | Rhenaniaphosphat B. | | |
| 8 | 4,43±0,101 | 55,4 | 8 | 6,94±0,274 | 86,8 |
| 16 | 5,82±0,229 | 36,4 | 16 | 13,26±0,086 | 82,9 |
| 32 | 6,66±0,175 | 20,8 | 32 | 17,60±0,119 | 55,0 |

Wie man aus der Tabelle IV sieht, hat die Aufnahme bei den verschiedenprozentigen Thomasmehlen, bzw. Rhenaniaphosphaten keinen Unterschied ergeben. Das hochprozentige Thomasmehl, sowohl wie das hochprozentige Rhenaniaphosphat haben ungefähr dieselben Aufnahmewerte ergeben wie das niedrigprozentige Thomasmehl, bzw. Rhenaniaphosphat. Ebenfalls hatten beide Rhenaniaphosphate, wie wir schon bei den ersten Versuchen gefunden hatten, die zugegebene Phosphorsäure weit besser ausgenutzt als die beiden Thomasmehle. Die Ausnutzung der Thomasmehlphosphorsäure ist bei diesem Versuch als schlecht zu bezeichnen und entspricht ganz dem Befund der früheren Versuche. Die Ausnutzung der Phosphorsäure des Rhenaniaphosphates ist dagegen eine weit bessere und übertrifft sogar das zuerst untersuchte Rhenaniaphosphat. Es ist aber zu berücksichtigen, daß zwischen diesem und dem ersten Versuch fünf Monate dazwischen liegen, ferner, daß wir bei dem ersten Versuch noch das alte Saatgut benutzt haben, und man aus diesem Grunde infolge der abweichenden Vegetationsbedingungen die Ergebnisse beider Versuche schlecht miteinander vergleichen kann.

### C. Zusammenfassung.

Die Untersuchungen über die Phosphorsäureaufnahme aus verschiedenen Phosphaten, sowohl aus chemisch reinen Salzen, als auch aus Düngephosphaten haben zu folgenden Ergebnissen geführt:

1. Das Natriumphosphat, in größeren Mengen dem Sande zugesetzt, hat auf die Aufnahme der Phosphorsäure durch die Keimpflanzen eine Depression ausgeübt, die äußerlich in der schwachen Entwicklung der Wurzelmasse zum Ausdruck kam.

2. Die Aufnahme und Ausnutzung der zugesetzten Phosphorsäuremengen durch die Keimpflanzen ist bei allen angewandten Phosphaten nicht quantitativ gewesen. Dies ist bei den schwerlöslichen Phosphorsäureverbindungen auch nicht anders zu erwarten. Aber auch bei den leichtlöslichen Phosphaten ist die Aufnahme nicht

*) Die Einzelergebnisse sind in der Originalarbeit angegeben.

eine vollständige gewesen. Annähernd quantitativ aufgenommen ist nur die niedrigste Gabe, und zwar auch nur bei den leichtlöslichen Verbindungen.

3. Zwischen dem Verlauf der Aufnahme und der Steigerung der dargereichten Phosphorsäuremengen zeigte sich keine Proportionalität. Vielmehr nahm die Ausnutzung der gegebenen Phosphorsäure ab, je mehr der Vorrat im Sande gesteigert wurde.

4. Am besten aufgenommen und ausgenutzt wurden von den chemisch reinen Phosphaten die primären Verbindungen, von den Düngesalzen das Superphosphat. An zweiter Stelle standen die sekundären Phosphate, bzw. das Rhenaniaphosphat, während das Thomasmehl sich als schwer aufnehmbar erwies. Bei weitem am schlechtesten wurden die tertiären Phosphate mit Ausnahme des von uns benutzten tertiären Magnesiumphosphates, das als ein nicht reines tertiäres Phosphat angesprochen werden mußte, ausgenutzt, sowie von den Düngephosphaten die Knochenmehle.

Diese Ergebnisse, besonders aber die Tatsache, daß die Phosphorsäureaufnahme nicht proportional dem Vorrate im Sande erfolgte, ergeben aber mit der Berechnungsweise der Grenzwerte, wie sie Neubauer (7) vornimmt, einen Widerspruch. Bekanntlich geht Neubauer bei der Berechnung der Grenzwerte von den Mengen an Nährstoffen aus, die hohe Ernten der Kulturpflanzen dem Boden entziehen. Nach seinen Erfahrungen können die Pflanzen in freiem Felde die Nährstoffe des Bodens nur zu 20—25 % ausnutzen, da ihre Wurzeln den Boden nicht in dem Maße an Nährstoffen erschöpfen können, wie das in den Keimschalen geschieht. Es müssen daher die fünffache Menge an aufnehmbaren Nährstoffen im Boden zur Verfügung stehen, damit die Aufnahme einer bestimmten Menge sicher gestellt ist. Endlich nimmt Neubauer an, daß bei seiner Methode 30 kg Nährstoffe pro ha äquivalent mit 1 mg, gefunden in 100 g Boden sind. Auf Grund dieser Erwägungen sind die Grenzzahlen berechnet worden. Für eine Kartoffelernte von 320 dz pro ha z. B., die dem Boden auf der Fläche eines ha 55 kg Phosphorsäure entzieht, ergibt sich nach dieser Berechnungsweise als Grenzzahl 9 mg $P_2O_5$ in 100 g Boden. Ein Boden also, bei dem durch die Keimpflanzmethode 9 mg $P_2O_5$ gefunden sind, ist nach Neubauer als mit Phosphorsäure genügend versorgt anzusehen. Angenommen nun, in demselben Boden hätte die Keimpflanzmethode ein Ergebnis von nur 8 mg $P_2O_5$ ergeben, so ständen den Pflanzen auf freiem Felde nur 48 kg ausnutzbare Phosphorsäure, anstatt 55 kg Phosphorsäure pro ha zur Verfügung. Es fehlten also an dem erforderlichen Gehalt von 55 kg ausnutzbarer Phosphorsäure im ganzen 7 kg $P_2O_5$, die man in Form von Düngesalzen dem Boden zuführen müßte. Bei einem Analysenergebnis von nur 7 mg würden demnach nur 42 kg, bei einem solchen von nur 6 mg nur noch 36 kg ausnutzbare Phosphorsäure pro ha vorhanden sein, und es müssen 13 bzw. 19 kg

Phosphorsäure zugedüngt werden. Es sinkt also, wie man aus diesem Beispiel ersieht, mit jedem mg Phosphorsäure, das durch die Keimpflanzen weniger aufgenommen wurde, der ausnutzbare Vorrat auf dem freien Felde, und zwar vollkommen proportional mit jedem mg in 100 g Boden um 6 kg pro ha. Neubauer nimmt also bei seiner Berechnung der Grenzwerte eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen der Phosphorsäureaufnahme durch die Keimpflanzen und dem Phosphorsäuregehalt des Bodens an.

Unsere Untersuchungen hatten jedoch gerade das Gegenteil erwiesen. 4 mg $P_2O_5$, gegeben in wasserlöslicher Form als Superphosphat, ergaben z. B. eine Aufnahme durch die Keimpflanzen von 4,02 mg = rund 100 %. Wurde die gegebene wasserlösliche Phosphorsäuremenge um das Doppelte, also auf 8 mg gesteigert, so nahmen die Keimpflanzen nicht die dopelte Menge, also 8,04 mg, sondern nur 6,36 mg = 79,5 % auf. Bei der Steigerung der wasserlöslichen Phosphormengen von 8 mg auf 16 mg $P_2O_5$ wurden schließlich an Stelle von 16 mg nur noch 10,10 mg $P_2O_5$ = 63,1 % aufgenommen. Mit jeder weiteren Steigerung der Phosphorsäuregaben wurde das Verhältnis zwischen der Aufnahme, wie sie theoretisch nach Annahme von Neubauer zu erfolgen hätte, und der tatsächlich erfolgten immer schlechter. Bei den anderen Phosphaten lagen die Dinge ähnlich. Es hatte also bei unserem Versuche die zwei, bzw. vierfache Erhöhung des Phosphorsäurevorrates im Sande nicht die zwei, bzw. vierfache Erhöhung der Aufnahme zur Folge, vielmehr stieg diese in einem bedeutend geringerem Maße als der Phosphorsäurevorrat des Sandes an. Umgekehrt kann man sagen, daß eine in gleichem Verhältnis gesteigerte Phosphorsäureaufnahme einen weit höheren Vorrat an aufnehmbarer Phosphorsäure im Sande voraussetzt. Bei unseren Versuchen z. B. entsprach einer Aufnahme von 4 mg durch die Keimpflanzen eine Phosphorsäuremenge im Boden von rund 4 mg wasserlöslicher Phosphorsäure in Form von Superphosphat. Um eine Aufnahme von 8 mg zu erzielen, mußten rund 11,5 mg wasserlöslicher Phosphorsäure im Boden vorhanden sein, bei der Aufnahme von 16 mg waren sogar rund 29,1 kg wasserlösliche Phosphorsäure erforderlich. Wie man aus diesem Beispiel sieht, erforderte eine in demselben Verhältnis gesteigerte Phosphorsäureaufnahme demnach eine Erhöhung des Phosphorsäurevorrates im Boden in bedeutend höherem Maße. Neubauer hat nun bei der Festsetzung der Grenzwerte diesen Umstand nicht in Betracht gezogen. Er ist vielmehr dabei von einer Proportionalität zwischen Phosphorsäureaufnahme und Phosphorsäuregehalt des Bodens im Sinne von 1 mg in 100 g = 6 kg pro ha ausgegangen. Deshalb ist es wahrscheinlich, daß die Grenzwerte für Phosphorsäure, besonders aber die, die er für die phosphorsäureanspruchsvollen Kulturpflanzen, wie Raps, Rübsen, Luzerne, Rüben, angesetzt hat, zu hoch sind, und daß man mit niedrigeren Grenzzahlen auskommen wird. Es ist nun

die Frage, ob es angängig ist, die Grenzwerte allgemein herabzusetzen. Die verschiedene Ausnutzung der angewandten Phosphate und ihre Abnahme bei steigendem Phosphorsäuregehalt, die außerdem keine Gesetzmäßigkeit erkennen läßt, dürften eine Bemessung der Grenzwerte für Phosphorsäure außerordentlich erschweren, wenn nicht unmöglich machen. Man muß deshalb versuchen, die Grenzwerte auf empirischem Wege in Verbindung mit Feld- und Vegetationsversuchen festzulegen.

### D. Vergleichende Untersuchungen zwischen Keimpflanzmethode und Vegetationsversuchen.

Die bisher ausgeführten Untersuchungen haben für die Grundlagen der Neubauermethode manchen Einblick gewährt, jedoch sind die Ergebnisse für die Richtigkeit der Neubauermethode nicht entscheidend, insofern, als sie die Frage, ob die Keimpflanzmethode auf die aufnehmbare Phosphorsäure eines Bodens Rückschlüsse gestattet, unentschieden lassen. Ein Urteil darüber kann freilich nur durch den Vergleich mit den gewachsenen Pflanzen, also mit Hilfe von Feld- und Vegetationsversuchen abgegeben werden. Auch in dieser Richtung hin suchten wir das Verfahren zu prüfen. Die Frage, die wir folgenden Versuchen zu Grunde legten, war die, ob dieselbe ertragssteigernde Wirkung, die unter der Voraussetzung gleicher Bedingungen durch verschieden hohe Phosphorsäuremengen erzielt waren, in der Keimpflanzmethode darin ihren Ausdruck fand, daß die Keimpflanzen die gleichen Aufnahmezahlen für Phosphorsäure ergaben. Wir stellten also einen Vergleich zwischen Vegetationsversuch und Neubauermethode an, und erblickten in der Bestätigung unserer Annahme, daß diejenigen Phosphorsäuremengen, die in ihrer ertragssteigernden Wirkung als äquivalent anzusprechen sind, gleichgültig, in welcher Form sie den Pflanzen zur Verfügung standen, den Keimpflanzen dieselben Mengen an aufnehmbarer Phosphorsäure liefern müßten, ein Kriterium für die Brauchbarkeit der Methode. Es galt also zunächst gleiche Erträge und die dazu gehörenden Phosphorsäuremengen zu ermitteln. Zu diesem Zweck führten wir in Mitscherlichgefäßen Vegetationsversuche aus und nahmen als Boden Hohenbockaer Glassand, den wir mit allen für das Pflanzenwachstum notwendigen Nährstoffen versahen. Durch die Wahl des Gefäßversuches bekamen wir nicht nur die Vegetationsfaktoren, wie Wasser, Licht etc., in die Hand, wir besaßen außerdem in dem Hohenbockaer Glassand ein Bodenmaterial, das sich bezüglich der Nährstoffe, der Reaktion, sowie der physikalischen Bodenbeschaffenheit gleichgestalten ließ, so daß wir unsere Versuche unter denselben Bedingungen wachsen lassen konnten. Einzig und allein wurde die Phosphorsäure variiert, indem wir diese in verschiedener Form als Super-, Rhenania-, Dikalzium- und Trikalziumphosphat, sowie als Thomasmehl dem Sande zusetzten. Es war von vornherein aus-

geschlossen, durch Anwendung einer einzelnen Gabe sofort für alle Phosphate die gleichen Erträge ausfindig zu machen. Wir nahmen daher für jedes Phosphat mehrere Gaben in allmählich steigender Form und erhielten auf diese Weise, wenn wir die verschiedenen gefundenen Erträge in ein rechtwinkliges Koordinatensystem eintrugen, von jedem Phosphat eine Ertragskurve, aus der wir jeden beliebigen Ertrag und die diesem entsprechende Phosphorsäuremenge herausgreifen konnten. Bezüglich der Höhe der angewandten Gaben wählten wir für das Superphosphat, Dikalziumphosphat, Thomasmehl und Rhenaniaphosphat die Gaben 0 g, 0,05 g, 0,10 g, 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g und 1 g $P_2O_5$. Für das Trikalziumphosphat jedoch gingen wir wegen der zu erwartenden geringeren Wirkung dieses Phosphates von ungefähr den doppelt so hohen Mengen, nämlich 0 g; 0,10 g; 0,25 g; 0,50 g; 1,00 g; 1,50 g und 2,00 g $P_2O_5$ aus. Die Berechnung der einzelnen Phosphorsäuregaben erfolgte nach der in der Praxis üblichen Weise. Beim Superphosphat wurde daher die wasserlösliche, beim Rhenaniaphosphat und Thomasmehl die zitrat-, bzw. zitronensäurelösliche Phosphorsäure, beim Dikalzium- und Trikalziumphosphat die Gesamtphosphorsäure zugrunde gelegt.

Was das Ansetzen der Vegetationsgefäße anbelangt, so geschah dies nach folgendem Plan. Je 7200 g Hohembockaer Glassand wurden in die Mitscherlichgefäße gefüllt. Dieser Sandmenge wurde die Phosphorsäure in steigenden Gaben zugesetzt. Außerdem erhielt jedes Gefäß eine Grunddüngung, die sich aus folgenden Nährstoffen zusammensetzte.

1,5 g $K_2O$ in Form von $K_2SO_4$
1,2 g N in Form von $NH_4NO_3$
1,0 g $MgSO_4$ 7 aq.
0,25 g NaCl
0,20 g $FeSO_4$ 7 aq.
1,50 g $CaCo_3$

Die Gefäße wurden am 7. Mai 1926 angesetzt und am darauffolgenden Tage mit je 50 Haferkörner bepflanzt, die später nach dem Auflaufen auf 35 Pflanzen vereinzelt wurden. An Wasser gaben wir mit der Entwicklung der Haferpflanzen steigenden Mengen bis zur Höchstmenge von 60% der wasserhaltenden Kraft des Sandes. Die Pflanzen entwickelten sich normal. Ernsthafte Schädigungen, die ein Ausscheiden von Gefäßen bei der späteren Bewertung der Ergebnisse zur Folge hatten, traten nicht auf. Ein Braunwerden der unteren Blätter, besonders bei den Pflanzen der Superphosphat- und Dikalziumphosphatreihe, das sich wahrscheinlich auf eine schlechte Durchlüftung des Sandes zurückführen ließ, blieb auf das weitere Wachstum ohne Einfluß. Die Ernte der Gefäße fand nach Eintritt der Gelbreife statt. Wir erhielten für die einzelnen Phosphatreihen folgende Erträge an Erntetrockensubstanz im Mittel von je 4 Parallelversuchen (vergl. Tabelle V auf der nächsten Seite).

## Tabelle V.

### Erträge bei Gefäßversuchen*)

| | $P_2O_5$ Gabe g | entsprechende Phosphatmenge g | Ertrag an Körner und Stroh g |
|---|---|---|---|
| A. Superphosphat | | | |
| | 0 | 0 | 3,4±0,16 |
| | 0,05 | 0,2786 | 22,1±0,48 |
| | 0,10 | 0,5571 | 45,9±0,65 |
| | 0,25 | 1,3928 | 98,2±0,59 |
| | 0,50 | 2,7855 | 111,2±1,09 |
| | 0,75 | 4,1783 | 114,8±0,85 |
| | 1,00 | 5,5710 | 121,8±1,33 |
| B. Dikalziumphosphat | | | |
| | 0,0 | 0 | 3,4±0,16 |
| | 0,05 | 0,1245 | 19,8±1,03 |
| | 0,10 | 0,2491 | 38,7±0,76 |
| | 0,25 | 0,6227 | 102,0±0,59 |
| | 0,50 | 1,2453 | 110,1±0,42 |
| | 0,75 | 1,8680 | 102,0±1,73 |
| | 1,00 | 2,4906 | 103,9±2,28 |
| C. Thomasmehl | | | |
| | 0 | 0 | 3,4±0,16 |
| | 0,05 | 0,2766 | 21,9±0,84 |
| | 0,10 | 0,5531 | 45,3±1,91 |
| | 0,25 | 1,3827 | 95,0±0,48 |
| | 0,50 | 2,7655 | 97,8±0,93 |
| | 0,75 | 4,1482 | 100,3±2,63 |
| | 1,0 | 5,5309 | 106,4±1,01 |
| D. Rhenaniaphosphat | | | |
| | 0 | 0 | 3,4±0,16 |
| | 0,05 | 0,2166 | 23,0±0,65 |
| | 0,10 | 0,4133 | 50,3±0,63 |
| | 0,25 | 1,0832 | 99,5±0,90 |
| | 0,50 | 3,1663 | 104,1±0,67 |
| | 0,75 | 3,2496 | 102,6±0,96 |
| | 1,00 | 4,3327 | 110,3±2,05 |
| E. Trikalziumphosphat | | | |
| | 0 | 0 | 3,4±0,16 |
| | 0,10 | 0,2249 | 18,4±0,98 |
| | 0,25 | 0,5622 | 64,3±3,15 |
| | 0,50 | 1,1244 | 90,7±1,99 |
| | 1,00 | 2,2487 | 95,1±1,34 |
| | 1,50 | 3,3731 | 98,6±1,63 |
| | 2,00 | 4,4974 | 100,4±1,35 |

*) Die Einzelergebnisse sind in der Originalarbeit angegeben.

Wie man aus der Tabelle ersieht, nahm die Ertragssteigerung bei allen angewandten Phosphaten rasch zu. Schon bei der Phosphorsäuregabe von 0,25 g $P_2O_5$, beim Trikalziumphosphat bei 0,5 g $P_2O_5$, war schon fast die Grenze erreicht, von der an der Ertrag nicht mehr oder nur in ganz geringem Maße stieg. Es war nun die Frage, welchen Ertrag wir bei dem nachfolgenden Versuch mit den Keimpflanzen zugrunde legen sollten. Dazu mußten wir einen Ertrag auswählen, der durch solche Phosphorsäuremengen erzielt war, die, auf die Keimschalen umgerechnet, mit Hilfe der Keimpflanzen noch mit genügender Sicherheit bestimmt werden konnten. Aus diesem Grunde erschien uns der Ertrag von 100 g Erntetrockensubstanz am zweckmäßigsten. Dieser Ertrag wurde durch folgende Nährstoffmengen erreicht:

Beim Superphosphat durch 1,6156 g Superphosphat = 0,29 g $P_2O_5$.

Beim Dikalziumphosphat durch 0,6227 g Dikalziumphosphat = 0,25 g $P_2O_5$.

Beim Thomasmehl durch 3,7057 g Thomasmehl = 0,67 g $P_2O_5$.

Beim Rhenaniaphosphat durch 1,2122 g Rhenaniaphosphat = 0,28 g $P_2O_5$.

Beim Trikalziumphosphat durch 4,4075 g Trikalziumphosphat = 1,96 g Gesamtphosphorsäure.

Diese Phosphatmengen hätten also einen Ertrag von 100 g Erntetrockensubstanz erzielt, wenn wir sie 7200 g Hohembockaer Glassand zugesetzt hätten. Wir konnten sie daher als vollkommen gleichwertig ansehen.

Nachdem wir auf diese Weise von den verschiedenen Phosphaten die äquivalenten Mengen ermittelt hatten, war es noch unsere Aufgabe, mit ihnen nach entsprechender Umrechnung auf die Verhältnisse des Neubauer'schen Verfahrens, Keimpflanzversuche anzusetzen. Wir mußten also die bei den Gefäßversuchen ermittelten Phosphatmengen, bzw. Phosphorsäuremengen durch 72 dividieren und erhielten so die Mengen, die den 100 g Sand der Neubauer-Methode entsprachen. Es waren dies auf 100 g Sand:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 22,4 mg | Superphosphat . . . . . | 4 | mg $P_2O_5$ |
| 8,7 mg | Dikalziumphosphat . . . . . | 3,5 | „ „ |
| 16,9 mg | Rhenaniaphosphat . . . . . | 4 | „ „ |
| 51,5 mg | Thomasmehl . . . . . | 9,3 | „ „ |
| 61,2 mg | Trikalziumphosphat . . . . . | 27,2 | „ „ |

Diese Phosphatmengen wurden 100 g Sand zugegeben, und darauf gesehen, daß diese gut im Sande vermischt wurden. Außerdem erhielt jede Keimschale eine Grunddüngung, die voll und ganz der der Gefäßversuche entsprach. Die Keimpflanzen nahmen auf von hinzugesetzten:

22,4 mg Superphosphat . . . . . 4,04+0,067 mg $P_2O_5$
8,7 mg Dikalziumphosphat . . . . 3,25+0,093 mg $P_2O_5$
51,5 mg Thomasmehl . . . . . 5,24+0,088 mg $P_2O_5$
16,9 mg Rhenaniaphosphat . . . . 3,76+0,114 mg $P_2O_5$
61,2 mg Trikalziumphosphat . . . . 4,14+0,106 mg $P_2O_5$

Man sieht also, daß die Keimpflanzen die ihnen gebotenen Phosphatmengen ziemlich in derselben Höhe aufgenommen haben. Die Werte liegen ungefähr innerhalb der Grenze von 3—4 mg $P_2O_5$. Eine Ausnahme macht nur das Thomasmehl, das mit einem Aufnahmewert von 5,24 mg $P_2O_5$ aus der Reihe der anderen Phosphate herausfällt. Das mag aber davon herrühren, daß infolge der alkalischen Reaktion des Thomasmehls die Erträge in den Gefäßen herabgedrückt wurden Ohne den ertragsvermindernden Einfluß der Reaktion würden wir mit den Gaben von 0,25 g, 0,5 g und 0,75 g $P_2O_5$ Erträge erhalten haben, die über den tatsächlich gefundenen liegen würden. Umgekehrt würden die gefundenen Erträge von 95,0 g, 97,8 g und 100,3 g durch niedrigere $P_2O_5$ Gaben erzielt worden sein, als dies infolge der alkalischen Reaktion des Thomasmehls der Fall war. Für den gewählten Ertrag von 100 g würden also nicht die Menge von 0,67 g $P_2O_5$ erforderlich gewesen sein, sondern wahrscheinlich eine geringere Menge. Infolgedessen würden wir auch bei den Keimpflanzversuchen mit einer niedrigeren Gabe als 9,3 mg $P_2O_5$ ausgekommen sein, so daß wir für das Thomasmehl einen Aufnahmewert erhalten hätten, der den Aufnahmewerten der anderen 4 untersuchten Phosphate entspräche. Man kann also sagen, daß die Mengen an Phosphorsäure, die unter gleichen Bedingungen denselben Ertrag hervorgebracht hatten, auf die Keimpflanzmethode übertragen, ungefähr gleich hohe Aufnahmewerte bewirkt haben. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Phosphorsäuremengen, die wir bei den Keimversuchen zugrunde legten, z. T. große Unterschiede aufwiesen. Einer Phosphorsäuremenge von 4 mg $P_2O_5$ in Form von Superphosphat stand eine solche von 27,2 mg $P_2O_5$ in Form von Trikalziumphosphat gegenüber. Trotzdem hatten die Keimpflanzen beim Superphosphat sowohl, wie beim Trikalziumphosphat ungefähr dieselben Mengen aus dem Sand aufgenommen. Es lieferten also jene Phosphatmengen, die gleiche Erträge unter denselben Bedingungen erzielt hatten, nach der Keimpflanzmethode nahezu die gleichen Aufnahmewerte für Phosphorsäure, gleichgültig, in welcher Form und Höhe die Phosphorsäure verabreicht wurde. Der gleichen ertragssteigenden Wirkung verschiedener Phosphate entsprach also ein gleicher Neubauerwert.

Die Schlußfolgerung wäre nun vollständiger und überzeugender gewesen, wenn wir zum Vergleich zwischen Gefäßversuch und Neubauermethode an Stelle der einen mehrere Gaben herangezogen hätten. Daß wir dies nicht getan haben, liegt in den Verhältnissen begründet, die sich bei den Versuchen ergaben. Der zugrundegelegte Ertrag von 100 g reichte, wie wir gesehen haben, bis dicht an die

Grenze des Vollertrages heran. Einen höheren Ertrag zu wählen, verbot sich also aus diesem Grunde schon von vornherein. Ebenso stieß das Hinzunehmen eines niedrigeren Ertrages als 100 g auf Schwierigkeiten bei der Ausführung. In diesem Falle mußten wir nämlich bei den vergleichenden Keimpflanzversuchen äußerst geringe Mengen zusetzen, die mit Hilfe der Keimpflanzmethode sich nicht genau bestimmen ließen. Aus diesem Grunde verzichteten wir auf die Heranziehung einer zweiten Gabe und begnügten uns mit dem oben gewählten Ertrag.

## Zusammenfassung.

Faßt man die Ergebnisse der ausgeführten Untersuchungen zusammen, so lassen sich folgende Punkte festhalten:

1. Eine Beigabe von kohlensaurem Kalk zu Keimpflanzversuchen in reinem Sand hatte auf die Aufnahme der Phosphorsäure keinen Einfluß, da die Pflanzen, ob gekalkt oder nicht, ungefähr dieselben Werte geliefert hatten.

2. Die Aufnahme der reinem, nährstoffreiem Sand zugesetzten Phosphorsäure durch die Keimpflanzen ist nicht vollständig. Eine angenäherte quantitative Aufnahme war nur in dem Fall vorhanden, wenn es sich um leichtlösliche Phosphorsäureverbindungen und um sehr geringe Mengen handelte.

3. Mit der Steigerung steigt ebenfalls die durch die Keimpflanzen aufgenommene Phosphorsäuremenge. Die aufgenommene Phosphorsäuremenge steigt jedoch nicht in demselben Verhältnis wie die zugesetzte. Dementsprechend sinkt die prozentuale Ausnutzung der gegebenen Phosphorsäure, und zwar umso mehr, je höher der Vorrat der Phosphorsäure ist. Eine Proportionalität ist also nicht vorhanden.

4. Die Aufnahme und Ausnutzung der Phosphorsäure ist bei den verschiedenen Phosphaten recht verschieden. Ein Unterschied war zwischen den leichtlöslichen und schwerlöslichen Phosphorsäureverbindungen vorhanden, insofern als erstere bei weitem besser ausgenutzt wurden. Dabei stellte sich die zitronensäurelösliche Phosphorsäure als schwer aufnehmbar heraus, während beim tertiären Magnesiumphosphat infolge der unerwarteten ‚besseren Aufnahme und Ausnutzung der anderen tertiären Phosphaten gegenüber anzunehmen war, daß es sich um ein Gemisch von sekundären und tertiären Phosphaten handelt. Im allgemeinen wurden von den reinen chemischen Salzen das primäre Magnesium- und Kalziumphosphat, von den Düngephosphaten das Superphosphat am besten ausgenutzt. Ihnen folgten in der Ausnutzung von den chemisch reinen Verbindungen das sekundäre Kalzium- und Magnesiumphosphat, sowie das „tertiäre" Magnesiumphosphat, von den Düngesalzen das Rhenaniaphosphat. An

letzter Stelle stehen die tertiären Phosphorsäureverbindungen, wie Aluminium-, Eisen-, Kalziumphosphat sowie von den Düngephosphaten das Thomasmehl und die beiden angewandten Knochenmehle.

5. Der Vergleich zwischen Gefäßversuch und Neubauermethode ergab, daß Phosphatmengen mit derselben ertragssteigernden Wirkung gleiche Neubauerwerte liefern. Wir haben also bei gleich hohen Erträgen ungefähr gleiche Neubauerwerte erzielt und damit einen Beweis für die Richtigkeit der Grundlagen der Neubauermethode geliefert.

---

# Literaturverzeichnis.


1. König u. Hasenbäumer, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung B 1924 IV.
2. König u. Hasenbäumer, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung B 1926. V, 443.
3. Lemmermann, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung A. 1923. 368.
4. Dyer, Journal of the Chem. Soc. 1894. 115.
5. Mitscherlich, Die Bestimmung des Düngebedürfnisses im Boden, Parey 1924.
6. Neubauer, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung A. 1923. 329.
7. Neubauer, Mittlg. der D. L. G. 1925. 189.
8. Römer, Dirks u. Günther, Illustr. Landwirtsch. Zeitung 1924. 17.
9. Günther, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung B. 1927 VI. 502.
10. Kross, Landw. Jahrbücher 1927. 65. 277.
11. Densch, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung 1926 V. 97.
12. Opitz u. Benade, Festschrift f. Geh. Hofrat Eder, Parey 1925. 76.
13. Kruppa, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung A. 1926 VII, 73.
14. Lemmermann, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung B. 1926 V. 105.
15. Hähne, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung A. VI. 238.
16. Benade u. Nagakawa, Landw. Jahrbücher 1926. 62. 809.
17. Engels u. Hirschberger, Landw. Jahrbücher 1924. 60. 379.
18. Gerlach u. Nolte, Mitteilg. d. D. L. G. 1926. 208.
19. Blank, Zeitschrift f. Pflanzenernährung u. Düngung B. 1926 V. 118.
20. Neubauer, Landw. Versuchsstationen 1923. 100. 119.
21. Kolthoff, Der Gebrauch der Farbenindication, Berlin 1926.
22. Günther, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung B. 1926 V. 32.
23. Ungerer, Zeitschr. f. Pflanzenernährung u. Düngung A. 1927 VII. 352.

# Lebenslauf.

Am 22. Oktober 1898 wurde ich, Hans-Jürgen Frey, als Sohn des verstorbenen Geh. Regierungsrats und Prof. an der Universität Berlin Dr. Karl Frey und seiner Gattin Wanda, geb. Moers, zu Berlin-Wilmersdorf, evang. Konfession, geboren. Ich besuchte das humanistische Gymnasium, das ich Juni 1916 mit dem Reifezeugnis verließ, um in das Heer einzutreten, von dem ich Dezember 1918 entlassen wurde, um mich der Landwirtschaft zu widmen. Im Wintersemester 1919/1920 wurde ich an der Landwirtschaflichen Hochschule zu Berlin immatrikuliert, ließ mich aber im folgenden Semester auf 1½ Jahre beurlauben, um als Eleve auf dem Rittergut Lützensömmern in Thüringen die praktische Lehrzeit auszuüben. Im Wintersemester 1921/1922 bezog ich von neuem die Landwirtschaftliche Hochschule zu Berlin und legte an ihr im Wintersemester 1923/1924 die Diplomprüfung ab. Von dort besuchte ich zwei Semester lang die Universität Berlin, ein Semester lang die Landwirtschaftliche Hochschule zu Berlin und schließlich vom Wintersemester 1925/1926 bis Wintersemester 1926/1927 einschließlich die Landesuniversität Rostock.

Meine akademischen Lehrer waren:

An der Landwirtschaftlichen Hochschule zu Berlin die Herren Professoren Binz, Heymons, Miehe, Schucht, Mangold, Opitz, Aereboe, Auhhagen, Lemmermann, Wießmann, Hansen.

An der Universität Berlin die Herren Professoren Sering, Sombart, Schuhmacher, Jastrow, Häpke, Wolff, Triepel.

An der Universität Rostock die Herren Professoren Honcamp, Wießmann, Poppe und Schultze.

Allen diesen Herren, besonders Herrn Professor Dr. Honcamp und Herrn Professor Dr. Wießmann spreche ich an dieser Stelle meinen Dank aus.